This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

**Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

**About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

**Über dieses Buch**

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

**Nutzungsrichtlinien**

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

**Über Google Buchsuche**

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

~~3108.45~~

S 7880.20.5

HARVARD
COLLEGE
LIBRARY

# UNTERSUCHUNGEN

ÜBER

# THIERISCHE

# ELEKTRICITÄT

VON

EMIL DU BOIS-REYMOND.

ERSTER BAND.

MIT SECHS KUPFERTAFELN.

BERLIN.

VERLAG VON G. REIMER.

1848.

S 7880.20.5 1861, Nov. 15
Gray Fund.
Vol. I. $3.52
HARVARD UNIVERSITY LIBRARY

»Pour découvrir le mécanisme du système vivant, il faut rechercher »parmi ses effets quels sont ceux qui se rapportent aux lois bien éta»blies de la chimie ou de la physique, et les distinguer soigneusement »des effets qui n'ont point avec ces lois de liaison immédiate ou au »moins connue, et dont la cause nous est cachée. Ce sont ces derniers »que VANHELMONT et STAHL ont fait dépendre d'une archée ou de l'âme, »sans réfléchir que leur nature n'étant point approfondie, ce qu'ils at»tribuaient à un seul agent dépendait peut-être de plusieurs. En re»courant à des causes imaginaires, ne semble-t-il pas que ces grands »hommes aient voulu cacher leur ignorance sous le voile de la philo»sophie, et qu'ils n'aient pu se résoudre à marquer jusqu'où s'étendaient »leurs connaissances positives? Ils ont sans doute eu raison de dire »et nous pensons comme eux, que certains phénomènes se rencontrent »seulement dans les corps organisés, et qu'un ordre particulier de mou»vemens et de combinaisons en forme la base et en constitue le caractère. »On se trompait, sans doute, en leur assignant des causes hypothétiques »dont on a enfin dévoilé l'insuffisance; mais quelqu'étonnantes qu'elles »nous paraissent, ces fonctions ne sont-elles pas des effets physiques »plus ou moins composés dont nous devons examiner la nature par »tous les moyens que fournissent l'observation et l'expérience, et non »leur supposer des principes sur lesquels l'esprit se repose et croit »avoir tout fait lorsqu'il lui reste tout à faire.»

VICQ-D'AZYR.

(Oeuvres de VICQ-D'AZYR etc. Paris 1805. t. IV. p. 14.*)

SEINEM • LEHRER

HERRN

JOHANNES • MUELLER

DEM • PHYSIOLOGEN

IN • EHRFURCHT • UND • DANKBARKEIT

ZUGEEIGNET

VOM

VERFASSER

# VORREDE.

Im Frühling 1841 übergab mir Herr JOHANNES MÜLLER MATTEUCCI's »*Essai sur les Phénomènes électriques des Animaux*« (Paris 1840) mit der Aufforderung, die darin enthaltenen Versuche über den Froschstrom zu wiederholen und wo möglich weiter fortzuführen.

Obschon ich mich dieser Aufgabe alsbald mit allem Eifer unterzog, verflofs doch über ein Jahr, ehe ich die ersten brauchbaren Ergebnisse verzeichnen konnte. Ueber die Beschaffung der nothwendigsten Vorrichtungen ging der Sommer 1841 hin. Der Winter ist in unseren Gegenden zur Anstellung thierisch-elektrischer Versuche an Fröschen wenig geeignet. Auch besafs ich damals noch nicht die Einrichtungen, um diese Thiere in gehöriger Menge während der kalten Jahreszeit aufzubewahren. Ich benutzte den Winter 1841 — 42 daher vornehmlich, um mich mit der Literatur der thierischen Elektricität und der elektrischen Reizversuche bekannt zu machen.

Im Frühling 1842 nahm demnach erst die Reihe meiner eigentlichen Arbeiten ihren Anfang. Ich fand nun nacheinander den Muskelstrom, auf welchen ich den NOBILI'schen Froschstrom zurückführte; das von mir sogenannte Gesetz des Muskelstromes; seine negative Schwankung bei anhaltender Zusammenziehung, die ich bereits durch Tetanisiren

auf elektrischem Wege bewerkstelligte; sein Verschwinden beim Eintritt der Todtenstarre und manche andere denselben betreffende Einzelheiten; sodann den Nervenstrom und sein Gesetz, welches mit dem des Muskelstromes übereinkommt. Endlich eröffnete sich mir ein Kreis von Betrachtungen, welche von vielen Punkten aus der Lehre von den Zitterfischen mit Leichtigkeit Rechenschaft abzulegen scheinen.

Um diese Zeit, im Herbste 1842, trat für mich durch äufsere Verhältnisse die Nothwendigkeit ein, den Faden meiner Untersuchungen fallen zu lassen, ohne dafs ich die bestimmte Hoffnung nähren durfte, ihn sobald wieder aufnehmen zu können. In die Grenzen eines Journalaufsatzes pafsten schon damals meine Ergebnisse, in verständlicher Breite dargelegt, nicht mehr. Zur Abfassung einer eigenen Schrift fehlte mir die Mufse, dem vorhandenen Stoffe aber auch noch die Reife und Durchbildung. Ich wählte den Ausweg, in aphoristischer Kürze, ohne einleitende Bemerkungen und ohne Beschreibung von Vorrichtungen und Versuchsweisen, vor der Hand in einer Zeitschrift die Thatsachen zu veröffentlichen, an deren Erstbesitz mir vorzüglich gelegen sein mufste. So entstand mein: »*Vorläufiger Abrifs »einer Untersuchung über den sogenannten Froschstrom »und über die elektromotorischen Fische*« in Poggendorff's *Annalen der Physik und Chemie,* Januar 1843. Bd. LVIII. S. 1. Die Handschrift desselben wurde schon im November 1842 zum Druck eingereicht. Diese Abhandlung ist fast ganz unbeachtet geblieben, und, wo sie beachtet wurde, mit wenigen Ausnahmen mifsverstanden worden. Die Schuld davon fällt freilich gröfstentheils der darin befolgten Darstellungsweise zur Last, die mir aber durch die auseinandergesetzten Umstände geboten war.

Im folgenden Sommer, Juni 1843, ward es mir vergönnt, in meinen Forschungen weiter fortzufahren. Von dieser Zeit an bis jetzt habe ich denselben unausgesetzt alle meine Kräfte widmen dürfen. Die Früchte dieser neueren

Bestrebungen lege ich nunmehr, vereint mit denen jener älteren Arbeiten, den Physiologen und Physikern in diesem Werke vor.

Ich weiche dadurch, wie mir nur zu wohl bekannt ist, weit ab von der jetzt allgemein üblichen Art, naturwissenschaftliche Untersuchungen zu veröffentlichen. Ich übersehe keinen Augenblick, wie viel ersprieſslicher es der Lesewelt, der Sache selber und also auch mir gewesen wäre, wenn ich meine Ergebnisse, in dem Maſse, wie ich vordrang, in Zeitschriften hätte niederlegen können. Aus verschiedenen Gründen jedoch war dies für mich nicht wohl ausführbar.

Ich habe schon oben gesagt, daſs die in meinem »*vorläufigen Abriſs*« enthaltenen Arbeiten, deutlich entfaltet, das Maſs eines Journalaufsatzes überschritten haben würden. Ich hätte aber vielleicht, als ich sie im Sommer 1843 wieder aufnahm, sie als selbständiges Werk herausgeben, und nachher den gebräuchlichen Weg der Bekanntmachung in Zeitschriften einschlagen sollen. Das war auch damals in der That meine Absicht.

Allein, wie gleichfalls bereits bevorwortet wurde, dazu waren meine bis zum Herbst 1842 geführten Untersuchungen noch nicht weit genug gediehen. Eine halbjährige Frist, während welcher ich zwar meine Beobachtungen einstellen muſste, ihre Bedeutung und ihren Zusammenhang aber um so angelegentlicher in mir erwog, lieſs mir die Lücken in dem bereits Geleisteten noch gröſser erscheinen, deckte ihrer noch mehrere auf, und befruchtete mich mit manchem neuen Versuchsplan, dessen Verwirklichung ich nicht entsagen mochte. Sobald ich aber anfing, von Frischem die Natur zu befragen, fand ich mich ergriffen wie von einem Strudel immer neu hervorquellender Räthsel, der nirgend Stillstand gewährte, und mir erst nach langer Zeit gestattete, einigermaſsen festen Fuſs zu fassen. Die Verwickelung fast aller hier obwaltenden Verhältnisse ist erstaunlich. Die Möglich-

keiten des Irrens sind ins Unbegrenzte vervielfältigt. Der Deutungen, welche sich für jede einzelne Erfahrung darbieten, sind unzählige. Manchmal nach endlosem Hin- und Herwenden der Sachlage schien sich zuletzt die Entscheidung in ein zartes Experimentum crucis zuzuspitzen. Es ward angestellt; aber wie oft blieb sein Erfolg ein zweideutiger, wegen der unbesiegbaren Schwierigkeiten, welche aus der Natur der thierischen Theile hervorgehen. Oder auch es sprach mit Bestimmtheit in einem gewissen Sinne, und mancher früheren Tücke uneingedenk liefs ich mich schon vom Gefühl der Sicherheit beschleichen, als von ungefähr ein neuer Versuch kam und mich unwiederbringlich aus der Stellung warf, die ich noch so stark befestigt zu haben wähnte. So schwankte ich jahrelang in peinlicher Rathlosigkeit dahin, bis endlich gewisse Grundzüge, auf die ich immer von Neuem geführt wurde, begannen Stich zu halten, um welche dann allmälig auch der übrige Stoff mehr zu fester und verständlicher Gestalt sich zusammenzog.

Ich würde also, wenn ich mich der gangbaren Art der Veröffentlichung hätte fügen wollen, an einer von beiden Klippen gescheitert sein: ich hätte entweder Gefahr gelaufen, häufig mit mir selber in Widerspruch zu gerathen und öffentlich jene unvermeidliche Kette von Täuschungen und Enttäuschungen durchzumachen; oder ich hätte mich darauf beschränken müssen, einzelne Thatsachen, als Glieder eines noch unverbundenen Ganzen, in lebloser Folge aneinanderzureihen.

Ich habe es unter diesen Umständen für gerathen gehalten, meine Arbeiten in der Stille zu zeitigen. Doch kann ich nicht leugnen, dafs noch ein anderer Beweggrund mich in diesem Entschlusse zu bestärken kam. Matteucci hat, seit dem Erscheinen meines »*vorläufigen Abrisses*,« nicht aufgehört, denselben Stück für Stück, so weit er ihm verständlich war, mit der ihm eigenen, schon so oft bewährten Kühnheit auszubeuten. Ich mufste fürchten, einem sogearteten

Nebenbuhler gegenüber die Frucht meiner Anstrengungen völlig auf das Spiel zu setzen, wenn ich ihm das Geheimnifs meiner Vorrichtungen und Versuchsweisen vor der Zeit preisgab.

So sind diese Untersuchungen nach und nach zu der etwas beschwerlichen Ausdehnung angewachsen, in der ich sie heute den Fachgenossen vorlege. Wenn ich, nach so langem Zögern, es endlich wage damit hervorzutreten, so ist der Grund davon jedoch nicht etwa, dafs ich glaube, nunmehr ein fertiges und abgeschlossenes Ganze zu Stande gebracht und den Gegenstand meiner Forschungen erschöpft zu haben. Nicht entfernterweise ist dieses der Fall.

Allerdings bin ich zu einem vorläufigen Abschlufs gelangt, wie es nöthig ist, damit überhaupt eine zusammenhängende und auf ein deutliches Ziel hinauslaufende Darstellung möglich werde. Die Hauptlinien des neuen Zweiges der Physiologie, der hier im Entstehen begriffen ist, der elektrischen Nerven- und Muskelphysik, dürften im Wesentlichen richtig vorgezeichnet sein. Die Grundversuche, welche über seine Bedeutung entscheiden, dürften vorliegen. An manchen Stellen möchte auch die Forschung wirklich schon die Grenzen erreicht haben, die ihr theils durch die Natur der Dinge, theils nur vor der Hand durch den Zustand der Hülfswissenschaften gesteckt sind. Denn im Allgemeinen ist es stets mein Augenmerk gewesen, lieber einen engen Bezirk von Erscheinungen vollständig zu überwältigen, als mich, im Rücken und den Flanken ungedeckt, in weitaussehende Streifzüge einzulassen, ihr Ziel mochte aus der Ferne noch so lockend erscheinen. Ich dachte mir, dafs eine solche sichere Besitznahme wenn gleich nur von wenig Punkten gerade das sei, was hier am meisten Noth thue; und dafs, wenn erst einmal dergestalt ein Boden gewonnen wäre, die weiteren Eroberungen sich in der Folge schon von selbst gestalten würden.

Zwischen diesen beiden Richtungen aber, der zu immer

neuen Erwerbungen eilig vorwärts treibenden, und der mit Zähigkeit sich erst ins Einzelne eines jeden Schrittes vertiefenden, ist es mir, inmitten der Zufälligkeiten bald des Versuchs, bald der erfindenden Thätigkeit, noch nicht möglich gewesen, überall das Gleichgewicht in der Weise herzustellen, dafs dadurch meiner Arbeit das Gepräge der Vollendung, soweit dies überhaupt in meinen Kräften stand, aufgedrückt worden wäre. Hier habe ich, augenblicklich abgelenkt durch den Drang wichtigerer Aufgaben, und ohne dafs mir nachmals Zeit geworden wäre, darauf zurückzukommen, eine Versuchsreihe zur Seite liegen lassen, welcher nachzugehen die gleichmäfsige Durchbildung des Ganzen doch erheischt hätte, wenn sie auch von untergeordnetem Belang erschien und keine neuen Aufschlüsse, sondern nur mehr oder weniger lehrreiche Folgesätze zu liefern versprach. Anderwärts nehme ich mit Bedauern empfindlichere Lücken wahr, obschon ich mir sagen darf, dafs sie herrühren gerade von der treueren Befolgung des oben ausgesprochenen Grundsatzes, wodurch ich verleitet wurde, vielleicht länger als nöthig bei Einzelheiten zu verweilen, deren Ausführung ohne Schaden einer späteren Zeit hätte vorbehalten werden können. Eine Menge Fragen von der höchsten Bedeutung liegt noch unbeantwortet vor, darunter mehrere aus der allgemeinen Nervenphysik, die noch vor Kurzem jeder thatsächlichen Prüfung weit entrückt waren, von den neuen Standpunkten aus, welche meine bisherigen Bestrebungen eröffnet haben, jedoch nicht mehr unzugänglich sind. Es ist demnach für diejenigen, welche mir auf dies Gebiet folgen wollen, unzweifelhaft noch eine reiche Lese von Entdeckungen übrig; und ich habe nicht ermangelt, wo ich mich gezwungen sah, dergestalt meine Untersuchung unvollständig zu lassen, stets ausdrücklich hinzuweisen auf dasjenige, was an einer solchen Stelle wohl noch zu leisten wäre. Endlich obgleich es mir, wenn ich nicht irre, geglückt ist, die Mehrzahl der Thatsachen wenigstens der allgemeinen Form nach

an einen durchgehenden Faden des Verständnisses aufzureihen, kann ich mir doch nicht verhehlen, dafs nur an wenig Orten sich dies Verständnifs zu einer tiefer in die Natur der Vorgänge blickenden Einsicht erhebt, während sogar nicht selten Probleme noch völlig ungelöst, Widersprüche noch ganz ungeschlichtet stehen geblieben sind.

So wenig halte ich also auch jetzt noch meine Untersuchung für vollendet. Es hat somit vielmehr sehr entscheidender Gründe bedurft, um mich zu bewegen, sie bereits in ihrem gegenwärtigen Zustande zu veröffentlichen. Vielleicht hätte, nun ich einmal so weit gekommen war, Versuchsplane, Methoden und Vorrichtungen mir zu Gebote standen, schon ein mäfsiger Aufschub hingereicht, um ihr einen merklich höhern Grad der Reife zu ertheilen. Vielleicht hätte ich wohlgethan, mir noch diese Frist zu gönnen, und nochmals, mit verdoppelten Anstrengungen, danach streben sollen, die letzte Hand an mein Werk zu legen. Allein verschiedene Betrachtungen von überwiegender Wichtigkeit drängten mich, dennoch endlich um jeden Preis einen Ruhepunkt zu suchen und einen wie immer beschaffenen Schlufs zu machen.

Ich sah um mich herum, von mehreren Seiten her, den physiologischen Versuch sich wieder mit Eifer der Muskelzusammenziehung zuwenden, deren Erforschung lange fast gänzlich brachgelegen hatte. Nach einer andern Richtung glaubte ich zu gewahren, dafs die allgemeine Nervenphysik auf einen Standpunkt gelangt sei, wo jedes fernere Vorwärtsstreben auf dem bisher einzig angebahnten Wege vergeblich bleiben würde. Möglich, dafs ich in einer Selbsttäuschung befangen war: allein es schien mir, als ob in beiden Gebieten durch das Studium der elektrischen Wirkungen der Muskeln und Nerven, wie ich es unternommen, die wesentlichste Lücke ausgefüllt werde, ja ein namhafter Wendepunkt der ganzen Untersuchung ohne alle Frage bedingt sei. Konnte ich es unter diesen Umständen verant-

worten, wenn ich blos um der Befriedigung willen, die eine gröfsere Vervollkommnung meiner Arbeit mir gewährt hätte, noch fernerhin Erndte um Erndte im Geheimen aufspeicherte? Wie mancher Theil derselben hätte schon längst in anderen Händen, auf benachbarten Feldern, als erspriefsliches Saatkorn neue und reiche Frucht zu tragen vermocht! Es war nicht zu verkennen, dafs es mehr im allgemeinen Interesse der Wissenschaft lag, den jungen Staat der elektrischen Nerven- und Muskelphysik bei Zeiten, wenn auch noch etwas ungeordnet, in ihren Verband aufzunehmen, als sich den mehr geregelten erst später einzuverleiben.

Was mich selbst betrifft, so will ich einmal nicht verschweigen, dafs, je länger ich mit dem erworbenen Besitzthum geizend es dem allgemeinen Verkehr vorenthielt, um so quälender in mir die Sorge erwuchs, ich möchte mich um den Dank so mancher mühsamen Bestrebung noch hart am Ziele betrogen sehen. Denn ich wufste wohl, ein wie bedenkliches Spiel ich seit Jahren mit dem Zufall spielte. Jeden Tag konnte er einen glücklichen Nebenbuhler oder sonst einen der zahlreichen Forscher, die ihre Beschäftigungen oft ganz nahe an die Grenzen meines Gebietes führten, mit Entdeckungen belehnen, die ich doch längst im Stillen meine eigenen nennen durfte. Mancher verdriefsliche Verlust der Art kam auch wirklich von Zeit zu Zeit mich daran zu erinnern, wie wohl begründet meine Befürchtungen seien.

Indessen war mir diese beständige Gefahr, in der ich lebte, schon zu sehr zur Gewohnheit geworden, als dafs ich mich dadurch allein hätte abhalten lassen, meine Arbeit so weit zu vervollkommnen, als nur irgend meine Kräfte verstatteten. Fürs zweite jedoch bekenne ich geradezu, dafs ich der Last des aufgehäuften Stoffes endlich aufhörte gewachsen zu sein. Die Menge der Versuche sammelte sich im Lauf der Jahre dergestalt an, dafs ich trotz den sorgfältig gehaltenen Tagebüchern zuletzt nicht vermochte, mir ihre Gesammtheit in jedem Augenblicke zu vergegenwärtigen.

Mehr als einmal begegnete es mir, Versuche zum zweitenmale ganz von Neuem anzustellen, weil es mir entfallen war, dafs sie längst in jenen Büchern verzeichnet standen. In dem Mafse, wie die Thatsachen sich mehrten, wuchs auch die Ausdehnung und Verwickelung des Netzes von Betrachtungen, wodurch ich bemüht war, sie zu einer Einheit zusammenzufassen. Die Menge und Zartheit der Verbindungsfäden, welche sich zwischen den mannigfachen Verzweigungen der Untersuchung in allen Richtungen kreuzten, nahm mit jedem Schritte zu. Nachgrade war ich nicht mehr im Stande, sie alle gleichmäfsig festzuhalten. Ihr Gewebe fing an, sich vor meinen Augen zu verwirren. Die Schwierigkeiten der Darstellung, welche seinen Zusammenhang abbilden sollte, wurden stellenweise fast unüberwindlich. Mit einem Wort ich lernte, dadurch dafs ich ihrer entbehrte, die grofsen Vortheile erst recht erkennen, welche die sogenannte Journalliteratur den Arbeitern in den Naturwissenschaften bei ihrem jetzigen Zustande gewährt, und vermöge welcher die selbständigen Werke von einigem Umfang mit der Zeit fast ganz aus denselben verschwunden sind. Täglich in Gefahr, von zahlreichen Mitbewerbern überholt zu werden, auf einer Bahn begriffen, deren Hindernisse sich unablässig steigern, ist es dem Forscher durchaus nothwendig, den Lohn seiner Mühen möglichst bald in Sicherheit gebracht zu sehen, sich selbst aber zu stetem Fortschritt tüchtig zu erhalten dadurch, dafs er jedes gewonnene Ergebnifs sofort als vollbrachte Thatsache hinter sich legt, und von träger Belastung frei nur nach vorwärts zu trachten braucht.

So fühlte ich denn auch in persönlicher Rücksicht, abgesehen von äufseren Verhältnissen, zwiefach das Bedürfnifs, mir ein Ziel zu setzen und, ehe ich auf neue Unternehmungen sann, einmal ernstlich mit der Vergangenheit abzuschliefsen. Allein es gesellten sich noch andere Gründe hinzu, die sich auf das Loos und auf die Wirksamkeit bezogen, welche das Werk, nach seinem Erscheinen, wenigstens in der

nähern Zukunft erwarten mochten. Es war mir, wie schon angedeutet wurde, nur zu wohl gegenwärtig, wie sehr dasselbe, durch die bereits erreichte Ausdehnung, an Uebersicht und leichtem Zugang verlieren mufste. Ferner je länger man, abgeschlossen von dem äufseren Verkehr, sich vertieft in einen selbstgeschaffenen Kreis von Thatsachen und daran sich knüpfenden Betrachtungen, um so mehr läuft man Gefahr, den Standpunkt einzubüfsen, von welchem aus sie solchen, die aufserhalb dieses Kreises stehen, am leichtesten mitgetheilt werden können. Man gewöhnt sich unwillkürlich, mit gewissen Ausdrücken einen Sinn zu verbinden, der Jenen völlig fremdartig erscheint und die Kette des Verständnisses unterbricht. Uneingedenk der Stufe, von der man selber seinen Ausgang nahm, setzt man die eigene Bekanntschaft mit den darzulegenden Verhältnissen unstatthafterweise bei Jedem voraus. Früh aufmerksam geworden auf diese Uebelstände, habe ich mein Möglichstes gethan, mich in Betreff derselben strenge zu überwachen. Aber es drängte mich um so mehr, ihnen bei Zeiten völlig zu entrinnen; die Weitschichtigkeit meiner Untersuchungen, in der Gestalt, wie sie bereits vorlagen, erschien mir um so bedenklicher; endlich ich fürchtete um so stärker, ihren Umfang noch mehr zu vergröfsern, als ich mir nicht verhehlen konnte, dafs ihre Verbreitung auch noch sonst auf mancherlei Hindernisse treffen würde.

Es herrscht unter den Physikern und Physiologen ein althergebrachtes Vorurtheil gegen dieses Grenzgebiet beider Wissenschaften. Zwar hat dasselbe in neuerer Zeit etwas zu weichen angefangen vor den fortgesetzten Bemühungen Matteucci's. Allein dieser Erfolg rührt gewifs zu keinem kleinen Theile daher, dafs die endlichen Ergebnisse dieses Forschers im Wesentlichen verneinende sind.

Es giebt, laut demselben, keine elektrische Ströme in den Nerven. Der Muskelstrom kreist in den Muskeln nur nachdem sie auf gewisse Weise zugerichtet sind, und hat nichts zu schaffen mit ihrer Zusammenziehung. Das soge-

nannte Nervenprincip ist ihm nach wie vor ein besonderes, hypothetisches Wesen, welches er beliebt, sich unter dem Bilde von Aetherschwingungen vorzustellen, und unter allen Umständen als von der Elektricität durchaus unterschieden erklärt.

Ich nun glaube sehr entgegengesetzte Ansichten verfechten zu dürfen. Es ist mir, wenn mich nicht alles täuscht, gelungen, jenen hundertjährigen Traum der Physiker und Physiologen von der Einerleiheit des Nervenwesens und der Elektricität, wenn auch in etwas abgeänderter Gestalt, zu lebensvoller Wirklichkeit zu erwecken.

Ich weise, in allen Theilen des Nervensystemes aller Thiere, elektrische Ströme nach, welche die Nadel eines empfindlichen Multiplicators an die Hemmung zu werfen vermögen. Dasselbe ist für alle Muskeln aller Thiere der Fall. Ich zeige, dafs diese Ströme bestimmte Veränderungen erleiden in dem Augenblicke, wo im Nerven der Bewegung und Empfindung vermittelnde Vorgang, im Muskel die Zusammenziehung stattfindet. Für den Muskelstrom wenigstens bin ich im Stande, sein Dasein, und das Dasein der nämlichen Veränderung desselben bei der Zusammenziehung auch am lebenden ganz unversehrten thierischen Körper darzuthun. Ja ich lehre den menschlichen Körper durch Vermittelung eines Kupferdrahtes die Magnetnadel in der Ferne nach Willkür bald hiehin, bald dorthin ablenken. Ich habe endlich eine Hypothese ersonnen, welche von allen diesen und vielen anderen Erscheinungen, die der Zitterfische mitinbegriffen, einfache Rechenschaft abzulegen scheint in dem Sinne, dafs die hier nach Aufsen bemerkbar werdenden elektrischen Veränderungen nicht blos gleichgültige Begleitzeichen, sondern die wesentliche Ursache sind der inneren Bewegungen, aus denen sich der Vorgang in den Nerven bei der Innervation, in den Muskeln bei ihrer Thätigkeit zusammensetzt.

Alles dieses ist hier nicht, wie so oft, wenn bereits ähnliche Behauptungen in die Welt gesetzt wurden, die

Folge einer flüchtigen Eingebung, einiger hastigen, nur einmal und nur zweifelhaft geglückten Beobachtungen. Es ist, wie aus dem Vorigen erhellt, die Frucht mehrjährigen angestrengten Fleifses und gewissenhafter Prüfung. Für fast alle wichtigeren Versuche kann ich die ersten Gelehrten, deren Deutschland sich rühmt, als die sachkundigsten und gewichtigsten Zeugen anrufen. Allein wie lange mufs ich fürchten, dafs es dauern werde, bis es mir gelungen sein wird, jenes herkömmliche Mifstrauen zu entwurzeln, welches so eng verwachsen ist mit den Ueberzeugungen des jetzt lebenden Geschlechtes von Forschern? Aus welchem Rechte darf ich mir schmeicheln, einen Widersacher glücklich zu bestehen, dessen Leistungen wenigstens das gesammte Ausland längst ungetheilten Beifall zu zollen gewohnt ist?

Dazu kommt noch, um meine Besorgnifs zu erhöhen, die ungemeine Schwierigkeit des Gegenstandes.

Er verlangt zu seiner Bewältigung nicht nur eine gehörige Vertrautheit mit dem Bau und den Verrichtungen der thierischen Körper, sondern auch die Kenntnifs der verwikkelten Gesetze der Elektricitätslehre. Ist die erstere bei Physikern von Fach, insbesondere bei Elektrikern, eine seltene Erscheinung, so haben auf der anderen Seite die Physiologen bisher nur wenig Veranlassung gehabt, sich die letztere anzueignen.

Aber diese doppelte Befähigung vorausgesetzt, giebt es auch noch, im Laufe der Untersuchung selber, abschreckende Hemmnisse genug. Es entfaltet sich hier, etwa wie im Gebiete des Elektromagnetismus oder der Induction, eine Fülle ganz neuer und eigenthümlicher Beziehungen. Es sind gewisse Grundgesetze aufzufassen, die, einmal zu sicherem Bewufstsein gediehen, in der Folge zwar zu grofser Klarheit gereichen, aber von Anfang an ein inniges Durchdringen verlangen, wenn nicht das Ganze als ein unbegreiflich verschlungener Irrgarten erscheinen soll.

An vielen Stellen reichen die unmittelbar gegebenen

Lehren des Galvanismus, der Induction u. s. w. nicht aus, um die Erscheinungen zu verstehen. Alsdann tritt, wie so häufig in der organischen Physik, die Nothwendigkeit ein, sich zunächst selber die allgemeinen Lehnsätze zu schaffen, deren man bedarf. Die Behandlung rein physikalischer Aufgaben kommt daher nur zu oft den Gang der Forschung zu unterbrechen und zu verzögern, und leider liegt es in der Natur der Dinge, dafs diese Aufgaben meist zu den dunkelsten gehören.

Endlich die einfachsten Versuche erfordern hier ein ungewöhnliches Aufgebot an Geduld, an Sorgfalt, an tausend kleinen Kunstgriffen und zuletzt noch an Vorrichtungen, von denen ein guter Theil bisher ganz unbekannt gewesen, die übrigen aber zum wenigsten den Physiologen sehr zur Seite gelegen haben. Wie lange hat es gewährt, bis der Gebrauch des Mikroskopes sich allgemeiner verbreitet hat, eines Instrumentes, welches auf dem Tische des Beobachters seinen Zweck erfüllt, wie es aus der Werkstätte des Künstlers kommt. Und wie viel schwerer, als sogar zartere mikroskopische Untersuchungen, ist selbst der gröbste thierisch-elektrische Versuch, die Darstellung z. B. des Nobili'schen Froschstromes, welche ja auch Valentin so vollständig mifsglückt ist. Der Multiplicator, wie ihn der Mechaniker zu liefern vermag, ist nicht, gleich dem Barometer, dem Thermometer, einem winkelmessenden Instrumente, ein fertiges Kunstwerk, welches nur der Frage harrt, um Antwort zu ertheilen. Er ist wie eine noch nicht justirte Wage, der die redende Seele des feinen Gleichgewichtes erst eingehaucht werden soll. Hier ist es ganz in die eigene Hand des Forschers gelegt, aus dem Instrumente das zu machen, dessen er bedarf, durch seine Aufstellung und durch die Abgleichung der zarten Kräfte, welche das magnetische System regieren. Und ist nun auch das stromprüfende Mittel in höchster Vortrefflichkeit bereit und gegeben, so beginnt erst die unabsehbare Reihe der Vorkehrungen, durch welche man sich

zu sichern hat gegen das immer wiederkehrende Schreckbild des Beobachters in diesem Gebiete, die Täuschungen nämlich durch fremde, nicht von den thierischen Gebilden ausgehende elektromotorische Wirkungen.

So kann ich die Furcht nicht unterdrücken, dafs sich nur wenige Physiologen finden werden, die sich's nicht verdriefsen lassen, sich mit der Elektricitätslehre vertraut zu machen, um dem Gange meiner Erörterungen folgen zu können. Ich frage mich, wie viele sich wohl dazu verstehen werden, diesen oft sehr beschwerlichen Gang, wie es zum Verständnifs unerläfslich ist, von Anfang an bedächtig fortschreitend mit mir durchzumachen, in einer Zeit, wo täglich neue Erscheinungen von gebieterischer Wichtigkeit sich zur Kenntnifsnahme aufdrängen. Endlich nur mit geringer Zuversicht getraue ich mir, zur eigenen thatsächlichen Prüfung meiner Behauptungen aufzufordern, den Versuch als Schiedsrichter anzurufen zwischen dem Vorurtheil und dem Ergebnifs der Untersuchung, zwischen Matteucci's Lehre und der meinigen. Es ist hier so viel leichter, verneinende oder zweideutige Antworten zu erhalten, als klar bejahende. Es ist so viel bequemer, für ein Spiel der Einbildung auszugeben, was in Wirklichkeit zu setzen einem nicht gelingen will. Ich selber habe, wie oben berichtet wurde, ein volles Jahr zugebracht, ehe ich die ersten brauchbaren Erfolge erzielte. Ich gebe zu, dafs ich in der Kunst des Versuchens ein Neuling, dafs alle die Methoden, welche nun geschrieben stehen, noch zu finden waren. Ich bringe in Anschlag eine Individualität, der es nun einmal beschieden ist, nur dadurch sich zum Rechten hinzutasten, dafs sie vorgehend alle Möglichkeiten des Irrens erschöpft. Aber bei alledem kann ich nicht umhin zu besorgen, dafs auch jetzt noch diejenigen, welche sich der Wiederholung meiner Beobachtungen unterziehen wollen, eine lange und verdriefsliche Schule zu bestehen haben werden.

Indem ich diese Bedenken eröffne, habe ich zugleich den

Grund gelegt zu meiner Rechtfertigung gegen einige Vorwürfe, denen die von mir befolgte Darstellungsweise unterliegen dürfte. Ich bin gefafst darauf, einer unerträglichen Breite angeklagt zu werden. Man wird mich beschuldigen, durch endlose geschichtliche Entwickelungen, durch umständliche Darlegung mancher Punkte aus der anorganischen Elektricitätslehre, den Umfang des Werkes, statt ihn nach Kräften zu verkleinern, vielmehr vollends über die Gebühr angeschwellt, den Kern meiner eigenen Arbeiten aber verschwemmt zu haben. Was diese selber betrifft, so wird man verleitet sein mir vorzuhalten, ich hätte häufig dem Leser ersparen können, die Umwege mitzumachen, die meine Kurzsichtigkeit oder mein Mifsgeschick mir selbst bereitet. Es wäre nicht immer nöthig gewesen, ihn Theil nehmen zu lassen an der Berathung über die zu befolgenden Versuchsplane und Methoden, anstatt ihm sogleich das Richtige herauszusagen. Endlich bei Beschreibung der neuen Versuchsweisen und Vorrichtungen sei ich nicht selten zu Einzelheiten herabgestiegen, welche ich besser unterdrückt hätte, da sie den blofsen Leser nur verwirrten, und wer die Beobachtungen zu erneuern beabsichtige, auch wohl von selbst darauf gekommen sein würde.

Nicht unbedacht habe ich mich indefs, wie schon bemerkt, diesen Rügen blofsgestellt. Die geschichtlichen Auseinandersetzungen erfüllen einen mehrfachen Zweck. Sie haben einmal, als literarhistorische Forschungen, an und für sich ihre Berechtigung. Wer diese grundsätzlich leugnet, dem gebe ich sie gerne preis. Ich selber hielt sie wenigstens nicht für überflüssig, wenn nun wirklich für die thierische Elektricität die Zeit gekommen sein soll, einen dauernden und würdigen Platz in der Wissenschaft einzunehmen. Ich fühlte aber überdies gleichsam eine persönliche Verpflichtung, diesen Theil der hier zu verrichtenden Arbeit keinem andern zu überlassen, wegen der seltenen Hülfsmittel, die ich mir zu Gebote gestellt sah. Die Herren Joh. Müller,

Dove, Poggendorff, Riess und Andere eröffneten mir ihre reichen Bücherschätze, und Herr Pertz gestattete mir, mit besonderer Zuvorkommenheit, den möglichst uneingeschränkten Gebrauch der Königlichen Bibliothek. Aber auch nicht einmal einen ferneren Aufschub schienen mir diese Studien ertragen zu können. Es handelte sich hier an sehr vielen Punkten nicht blofs darum, mehr oder weniger interessante Beiträge zur Entwickelungsgeschichte der Wissenschaft zu liefern. Sondern es galt zugleich, der Verbreitung von Irrthümern zu steuern, welche Schriftsteller des Auslandes in grofser Anzahl und mit so vollkommener Zuversicht ausgesäet haben, dafs auch die sonst wohl besser unterrichteten Deutschen Gelehrten ihren Behauptungen ohne Anstand gefolgt sind. Und zwar ist dies grofsentheils, wie so häufig, auch hier wieder einmal auf Kosten Deutschen Verdienstes geschehen. Ich freue mich, dafs es mir vorbehalten war, unseren Ritter wieder einzusetzen in den Besitz der von ihm entdeckten »Modificationen der Erregbarkeit durch »geschlossene Ketten«, den ehrwürdigen Pfaff in Kiel aber in den ihm gebührenden des »Gesetzes der Zuckungen«, unstreitig des wichtigsten Fundes im Gebiete der elektrischen Reizversuche.

In einer andern Rücksicht jedoch waren ausgedehnte geschichtliche Mittheilungen in diesem Werke sogar nicht zu vermeiden. Als, bald nach dem Anfange dieses Jahrhunderts, die thierische Elektricität und gleichzeitig die elektrischen Reizversuche in Vergessenheit geriethen, wurde von den Physiologen, so zu sagen, das Kind mit dem Bade ausgeschüttet. Allerdings war, ihrer ganzen damaligen Anlage nach, die Untersuchung verfehlt, und bei dem Mangel an einem feinen stromprüfenden Werkzeuge auch keine Aussicht für die nächste Zukunft vorhanden. Allein doch nicht ganz fruchtlos hatten Männer wie Galvani, Volta, Pfaff, von Humboldt, Ritter, sich anderthalb Jahrzehnde hindurch mit diesen Dingen beschäftigen können. Die Literatur

jener Zeit enthält eine ungeheure Menge von wohl beobachteten, wenn auch oft falsch gedeuteten, und zum Theil äufserst wichtigen Thatsachen. Wegen der herrschenden Vorurtheile, der besondern Natur des Gegenstandes, wegen des vorwiegenden morphologischen Interesses, endlich auch wohl der Entlegenheit, Verstreutheit und schweren Zugänglichkeit der Quellen sind diese Thatsachen in der neuern Physiologie fast ganz unbeachtet geblieben. Dasselbe gilt von einigen späteren Arbeiten, namentlich Italiänischer Forscher. Es war nicht nur überhaupt an der Zeit, solche Schätze wieder in Umlauf zu setzen, sondern für meine Zwecke, wie die Folge lehren wird, auch durchaus unerläfslich. Ich mufste die Physiologen, bevor ich ihnen meine eigenen Arbeiten darlegen konnte, zuerst wieder auf den verlassenen Standpunkt zurückführen, den die Wissenschaft hier wirklich schon einmal eingenommen hat, wie nun Mancher vielleicht nicht ohne Erstaunen inne werden wird. Ich mufste dabei um so gründlicher verfahren, als ich nicht selten genöthigt war, eine Sammlung älterer fremder Zeugnisse für die Richtigkeit einer Thatsache an die Stelle eines eigenen eintreten zu lassen. Das hier umzubrechende Feld dehnt sich, bei näherer Besichtigung, zu unabsehbar aus, als dafs es mir bereits hätte möglich sein können, auf allen Punkten selbst Hand an's Werk zu legen.

Matteucci's Arbeiten in der Ausführlichkeit zu berücksichtigen, wie dies geschehen ist, hatte ich die gewichtigsten Gründe. Dieser Forscher befolgt, seit langen Jahren, in der Veröffentlichung seiner Ergebnisse eine eigene Taktik. In unzähligen Aufsätzen in den verschiedensten Zeitschriften sieht man ihn denselben Stoff, oft in unveränderter Gestalt immer wieder als etwas Neues von Wichtigkeit vorbringen. Er flicht dann in diese Aufsätze, die man füglich als Plagiate an sich selbst bezeichnen könnte, ein paar wirklich neue Versuche ein, die jedoch häufig auch nur als unwesentliche Abänderungen älterer erscheinen, oder ein paar Betrachtungen,

welche die Blöfse derartiger Leistungen spärlich verdecken. Man kann sich denken, welche namenlose Verwirrung ein solches Beginnen zuletzt in der Literatur anzustiften vermag. Ich habe die Mühe nicht gescheut, aus allen Arbeiten Matteucci's, deren ich habhaft werden konnte, die eigentliche Summe seiner Ergebnisse auszuziehen, sie passend zu ordnen oder in die Darlegung meiner eigenen Untersuchungen einzuweben, und mit den Parallelstellen aus den Französischen, Deutschen und Englischen Zeitschriften zu versehen. Ich glaube nicht, dafs mir darin eine wesentliche Auslassung begegnet ist. Ich habe aber dabei nicht allein den Zweck im Auge gehabt, jener Verwirrung in der Literatur nach Kräften abzuhelfen, sondern es mufste mir auch daran liegen, den Leser mit Matteucci's Leistungen auf das Genaueste bekannt zu machen. Unsere Ergebnisse sind nicht selten im Widerspruch. Dann mufste ich die Sachlage schildern wie sie ist, oder zeigen können, worin ich glaube, dafs die gröfsere Berechtigung meiner Thatsachen oder Ansichten begründet sei. An fast allen Punkten bin ich, wenn ich nicht irre, ziemlich weit über Matteucci hinausgestiegen. Es konnte mir nicht gleichgültig sein, meinen Vorsprung dadurch fühlbar zu machen, dafs ich die Stufe bezeichnete, auf welcher Jener noch zur Stunde verharrt. Matteucci hat gesucht, sich Ergebnisse anzueignen, die ich Jahre vor ihm bereits veröffentlicht hatte. Ich war mir schuldig, diese Beeinträchtigung meiner Rechte nicht ungerügt vorübergehn zu lassen. Endlich je leichter es der Physiker zu Pisa mit dem Begriff des literarischen Mein und Dein zu nehmen gewohnt ist, um so peinlicher bin ich überall beflissen gewesen, auch das kleinste Verdienst, welches er sich hier wirklich erworben, in möglichst helles Licht zu setzen.

Was ich von kritisch-historischen Mittheilungen in diesem Werke nunmehr wirklich bereue, ist, auf Valentin's thierisch-elektrische Untersuchungen eingegangen zu sein. Die Sache selber konnte dabei nicht gewinnen; es lag mir

nur daran, die seltsame Täuschung aufzudecken, in welcher dieser Gelehrte und die Schaar seiner Verehrer sich befinden hinsichtlich der Befähigung desselben zu Arbeiten, welche physikalische Kenntnisse und Durchdrungensein mit dem Geiste der physikalischen Forschung verlangen. Dasselbe hatte sich wohl bereits Ludwig vorgesetzt. Allein seine nicht laut genug erhobene Stimme verhallte, wie mir schien, ohne hinlängliche Wirkung. Jetzt ist dieser Zweck jedoch wohl als erreicht zu betrachten durch Volkmann's »*Streif-*»*züge im Gebiete der exacten Physiologie. Eine Streit-*»*schrift gegen Herrn Professor* G. Valentin« (Leipzig 1847). Meine Kritik war, als dieselben herauskamen, längst gedruckt. Ich kann es daher nur beklagen, wenn sie jetzt, durch die Verzögerung der Herausgabe meines Werkes, als ein Kriegführen gegen Besiegte sich darstellt, und dadurch der Schein muthwilliger Streitsucht auf mich geladen wird.

Wenn ich an verschiedenen Orten Erläuterungen aus der reinen Elektricitätslehre gegeben habe, so ist meine Absicht dabei gewesen, den Physiologen zum Verständniſs behülflich zu sein, bei welchen ich diese Kenntnisse nicht voraussetzen konnte. Ich habe dies vornehmlich da gethan, wo es sich um Punkte handelte, welche erst eben an's Licht gezogen, oder noch in der Verhandlung begriffen, in den gangbaren physikalischen Lehrbüchern noch nicht erwähnt sind, oder um Einzelheiten, welche zwar hier von Bedeutung erscheinen, ihrer sonstigen Geringfügigkeit halber jedoch nicht pflegen in allgemeinen Werken der Art berücksichtigt zu werden. So wird den Physiologen wenigstens zum Theil die Mühe erspart sein, selber die Quellen in den physikalischen Zeitschriften nachzuschlagen. Für diejenigen, welche nach fernerer Aufklärung verlangen, sind sie übrigens auch stets in genügender Vollständigkeit beigefügt. Fast immer habe ich dabei den Standpunkt des elektrischen Wissens im Sinne gehabt, wie es sich dargelegt findet in

Fechner's unschätzbarem: »*Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie*« (Leipzig 1829, als dritter Band der Uebersetzung des Biot'schen Werkes).

Hinsichtlich der Weitläuftigkeit in der Auseinandersetzung meiner eigenen Arbeiten möge nachstehendes zu meiner Entschuldigung dienen. Ich habe oben die Hindernisse aufgezählt, welche sich aller Wahrscheinlichkeit nach der Verbreitung meiner Ansichten entgegenstellen werden. Wie konnte ich hoffen, diesen hemmenden Einflüssen besser zu begegnen, als indem ich den Leser gleichsam zum Theilnehmer an der geistigen Arbeit, zum inneren Augenzeugen der Versuche zu machen strebte? Wie konnte ich ihm in jedem Augenblicke die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges klarer zeigen, als wenn ich ihm die verschiedenen Möglichkeiten des Ausgangs, die ihm doch nur mehr oder weniger dunkel vorgeschwebt hätten, selber vorhielt und ihn so gewissermafsen in Stand setzte, mir aus freiem Entschlusse zu folgen? Endlich wie vermochte ich seine Zweifel an der Glaubwürdigkeit meiner thatsächlichen Aussagen gründlicher zu besiegen, als durch eine immerhin bis ins Kleinliche ausmalende Anschaulichkeit des Vortrags? Meinen Nachfolgern auf diesem Gebiete aber, den Mitarbeitern, welche ich wohl zu gewinnen wünschte, diesen gegenüber hielt ich es geradezu für meine Pflicht, keine Bemerkung, keinen Wink zu verabsäumen, wodurch ich glauben konnte, ihnen einen Theil des endlosen Aufwandes an Zeit, Mühe und Kosten zu ersparen, der den meisten meiner Versuche, ehe sie zu ihrer jetzigen Gestalt gelangten, voraufgegangen ist. Dies ist, wie mir scheint, allein die Art, wie die experimentelle Kunst fortzuschreiten vermag. So kann sich der Späterkommende immer auf die Schultern seines Vorgängers stellen. Er hat dann nicht nöthig, selber von vorne anzufangen. Er vergeudet dann keine Spannkräfte, welche besser zum Weitersteigen verwendet werden, daran, sich erst zu der Höhe zu erheben, die Jener bereits erstiegen hat.

Von denselben Gesichtspunkten habe ich, unterstützt durch die Gunst eines grofssinnigen Verlegers, beim Entwerfen der Kupfertafeln ausgehen dürfen. Es ist in denselben nichts erspart, um so viel wie möglich die wirkliche Anschauung der neuen Geräthschaften und ihres Zusammenwirkens im Versuch zu ersetzen. Nur einige derselben habe ich ohne Schaden fortlassen zu können geglaubt, weil sie blofs zu einzelnen Versuchen von zweideutigem oder verneinendem Erfolg angewendet worden waren, und ihre gerade sehr schwierige Abbildung sich somit nicht der Mühe zu verlohnen schien. Meist habe ich, um die Verständlichkeit der Zeichnung zu erhöhen, die perspectivische Art der Darstellung gewählt. Allerdings wird dadurch wiederum eine genaue Nachahmung der Vorrichtungen durch den Mechaniker schwerer gemacht, als wenn Aufrifs, Grundrifs und Durchschnitte gegeben wären. Allein dies will nichts sagen, da es hier selten auf bestimmte Mafsverhältnisse ankommt. Wo dies der Fall ist, finden sie sich beiläufig im Text angegeben. Endlich zur Erläuterung der mannigfaltigen Versuchsreihen selbst und der darauf bezüglichen Betrachtungen dienen viele mehr oder weniger schematische Abbildungen und auch einige mathematische Figuren.

In der That habe ich an mehreren Stellen nicht vermeiden können, von der mathematischen Darstellungsweise Gebrauch zu machen. Die Anwendung derselben in unserer Wissenschaft ist zwar noch sehr jung. Aber schon ist, von einer gewissen Seite her, der sträflichste Mifsbrauch damit getrieben worden. Es würde, nach den Vorgängen, auf welche ich anspiele, den Physiologen nicht zu verdenken sein, wenn sie von nun ab noch lange jeder Formel in einer organisch-physikalischen Auseinandersetzung mit argwöhnischem Blicke begegneten. Es würde nicht zu verwundern sein, wenn sie fortdauernd wenig Lust empfänden, sich näher zu befreunden mit der Handhabung jenes Werkzeuges der schärfsten Zergliederung, nachdem das Spielen

damit dem neuen Berner Iatromathematiker so übel bekommen. Ein solches Ergebnifs würde nicht der kleinste Schade sein, den VALENTIN der Sache der »exacten Physiologie« zugefügt hätte. Ich hege die feste Ueberzeugung, dafs gerade die physikalisch-mathematische Forschungsweise, richtig angewendet, im Stande ist, der organischen Physik sehr wesentliche Dienste zu leisten.

Zwar auf das Ersteigen jenes ersehnten Gipfels aller theoretischen Naturwissenschaft, wo die tiefste Rechnung und die feinste Beobachtung sich zu gegenseitiger Bürgschaft die Hände reichen, möchte wohl in der Physiologie grofsentheils Verzicht zu leisten sein. Dazu gehört einerseits, dafs man sich im Besitz mathematisch ausdrückbarer Voraussetzungen über den ursächlichen Zusammenhang der Erscheinungen befinde, andererseits, dafs letztere der Messung unterworfen werden können. Beides wird in unserer Wissenschaft nur selten möglich sein. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle wird man sich begnügen müssen, ein Verfahren, gleich dem folgenden, mit mehr oder weniger Genauigkeit und Vollständigkeit in's Werk zu setzen.

Es wird begreiflich niemals verwehrt sein, sich die Gröfse einer beobachteten Wirkung, welcher Art sie auch sei, als unbekannte Function aller der Umstände vorzustellen, welche darauf von Einflufs sind. Man wird nun einen von diesen Umständen vornehmen, ihn nacheinander im Versuch alle möglichen Werthe durchlaufen lassen, deren er fähig ist, indefs die übrigen beständig erhalten werden, und die zugehörigen Werthe der Wirkung, so gut es angeht, beobachten. Dasselbe thut man nach einander auch mit den übrigen Umständen. Es wird zweckmäfsig sein, für einen jeden Umstand die ihn betreffende Versuchsreihe unter möglichst verschiedenen Bedingungen hinsichtlich der übrigen Umstände, die beständig erhalten werden, zu wiederholen. Die Abhängigkeit der Wirkung von einem jeden Umstande stellt sich nun unter dem Bilde einer Curve dar, deren ge-

naues Gesetz zwar unbekannt bleibt, deren Gang im Allgemeinen man aber doch meist wird entwerfen können. Fast immer wird es möglich sein, zu entscheiden, ob die Function mit den untersuchten Veränderlichen wachse oder abnehme. In andern Fällen vermag man ausgezeichnete Punkte der Curve zu ermitteln, welcher der Sinn ihrer Biegung gegen die Abscisse sei, ob sie sich asymptotisch einem beständigen Werthe anschliefse u. d. m.

Weiter reicht, meines Erachtens, an den meisten Stellen der Physiologie beim jetzigen Stande der Dinge die Anwendbarkeit der mathematischen Zergliederung nicht. Auf unserem Gebiete vollends mufs sie auf dieser Stufe stehen bleiben. Aber so wird man mehrmals Gebrauch davon gemacht finden in den vorliegenden Untersuchungen. Daraus wird beiläufig am besten hervorgehen, in wie fern die Methode bei dieser Einschränkung noch im Stande sei, wichtige Vortheile zu gewähren. Bedenkt man, wie weit es von der Kenntnifs, zu dem eine Untersuchung in der angegebenen Weise führt, noch bis zu einer solchen ist, wodurch die Aufstellung einer empirischen Formel möglich wird, und den vergleichweisen Unwerth einer solchen Formel, so kann es freilich den Anschein haben, als ob mit der ganzen Bemühung so gut wie nichts gewonnen wäre. Dies Urtheil würde jedoch voreilig sein. So seltsam dies dem Physiker klingen mag, schon das mufs ich an und für sich als einen Gewinn ansehen, dafs an der Hand dieser Methode der Forscher sich auch der verwickeltesten Erscheinung gegenüber stets bewufst bleiben wird, wie er es, in der Gröfse der Wirkung, auf die er sein Augenmerk richtet, einfach zu thun hat mit einer unbekannten Function aller der bekannten und unbekannten Umstände, welche im Versuch zusammentreffen. Wo einmal diese Einsicht zur zweiten Natur geworden, da wird sich schwerlich noch fernerhin ein Boden finden für das verhafste Unkraut gewisser physiologischer Erklärungsweisen,

welche so traurig hemmend auf das Gedeihen der Wissenschaft eingewirkt haben.

Sodann ist zwar stets die Möglichkeit vorhanden, dafs ein erwünschter Zufall oder eine plötzliche Offenbarung dem gemessenen Schritte des methodischen Absuchens mit einem raschen Sprunge zuvorkomme, und es versteht sich von selbst, dafs es pedantische Thorheit sein würde, diese Vortheile, wo sie sich darbieten, von sich zu weisen. Wo indefs kein glücklicher Würfel der Art fallen will; wo die freie Combination entschieden den Dienst verweigert: da streckt das beschriebene Verfahren noch immer eine hülfreiche Hand entgegen. Und so sicher ist diese Hand, dafs man wohlthun wird, ihre Führung selbst dann nicht zu verschmähen, wenn man sich aufserdem durch Glücksfälle der bezeichneten Art begünstigt sieht. Man wird, bei dieser Führung, stets auf dem kürzesten Wege zu einer möglichst vollständigen Kenntnifs des natürlichen Vorganges ganz unfehlbar gelangen.

Endlich können die in Gestalt von Curven gewonnenen Bestimmungen hinsichtlich der Abhängigkeit der beobachteten Wirkung von den verschiedenen veränderlichen Umständen höchst unvollkommen sein, und doch zu äufserst lehrreichen Wahrnehmungen und Folgesätzen Gelegenheit geben, die in der That auf keine andere Weise zu erlangen gewesen wären. Ja sie können z. B. in Fällen, wo ausnahmsweise über die Gestalt jener Curven theoretische Voraussetzungen zu Gebote stehn, einen sicheren und für die Richtigkeit dieser Voraussetzungen entscheidenden Vergleich der beobachteten mit der erwarteten Gestalt zulassen. Dies wird allerdings nicht stattfinden, wenn die Gestalt eine ganz einfache ist, also auf blofses Ansteigen von Ordinatenwerthen nach einem gewissen Gesetze hinausläuft. Aber wo die Curven recht hervorstechende Eigenschaften besitzen, da wird es möglich werden, auch mit Hülfe roherer Bestimmungen zu einem Grade von Gewifsheit zu gelangen, welcher demjenigen

wenig nachgiebt, den man unter günstigeren Verhältnissen bei minder ausgezeichneter Beschaffenheit der Curven durch Gegenüberstellen berechneter und beobachteter Zahlenwerthe zu erreichen vermag.

Natürlich kann es hier nicht meine Absicht sein, eine genaue Anweisung zu ertheilen, wie man die Ergebnisse des empfohlenen Verfahrens behufs weiterer Fortschritte auszubeuten habe. Dies mufs begreiflich der Sachlage in jedem einzelnen Falle zur Bestimmung überlassen bleiben. Es giebt bekanntlich nichts schwierigeres, als dergestalt die Regeln einer verwickelten Thätigkeit zu abstrahiren, die man so wenig mit Bewufstsein auszuüben pflegt, als man sie mit einem Schlage erlernt. Es mufs vielmehr dem Bemühen des Einzelnen überlassen bleiben, sich durch Uebung der Vortheile zu bemeistern, zu denen der Weg nur in allgemeinen Zügen vorgezeichnet werden kann. Weder also würde eine solche Anweisung an und für sich von Nutzen sein, noch würde sie auf der anderen Seite dienen, den Physiologen ein lockendes Bild von jenen Vortheilen auszumalen. Denn es ist eine geläufige Erfahrung, z. B. gerade in der Mathematik, der Mechanik, dafs noch so fruchtbare Grundsätze, gleich einer Leuchte in unbegrenzter Nacht, ohnmächtig und unbedeutend sich darstellen, bis man sie ihren Schein hat werfen lassen auf einen bestimmten, genäherten Gegenstand. Somit verweise ich lieber nochmals auf die betreffenden Punkte der Untersuchung selbst, um Sinn und Gehalt des hier nur Angedeuteten an wirklichen Beispielen einsichtlich zu machen.

Für den mit sogenannten qualitativen Untersuchungen beschäftigten Physiker bedarf es nicht erst einer solchen Prüfung. Seine Arbeiten bewegen sich unter dem Drucke ähnlicher, wenn gleich leichterer Fesseln, wie die unsrigen. Er ist daher längst gewöhnt, innerhalb der ihm verstatteten Grenzen den Gebrauch von der physikalisch-mathematischen Forschungsweise zu machen, den ich eben zu schildern ver-

sucht habe. Ihm hat also auch in dem Gesagten nichts begegnen können, was ihm nicht schon sattsam vertraut wäre. Er vergesse aber nicht, beim Urtheil über die Statthaftigkeit und Zeitgemäfsheit dieser Auseinandersetzung, dafs ihr Zweck vornehmlich ist, mathematische Betrachtungen über organisch-physikalische Gegenstände einzuführen bei den Physiologen, welche in diesem Augenblicke theils eingenommen sind gegen diese Art der Behandlung von Aufgaben aus dem Gebiete der Lebensvorgänge, theils noch sehr im Unklaren verharren über das Wesen der physikalisch-mathematischen Methode, so viel sie dieselbe auch neuerdings im Munde führen. Wie sollte dem anders sein, da sie meistens nur die morphologische, ärztliche und höchstens die chemische Bildung hinter sich haben, und ihre Kenntnifs jener Methode sich somit nur zu häufig auf das beschränken mag, was sie aus Valentin's Lehrbuch sich haben entnehmen können. Ich vermag in diesem Bezuge eine Bemerkung nicht zu unterdrücken, die mir in mehrfacher Rücksicht gerechtfertigt erscheint.

Es hat sich, wenn ich nicht irre, unter den Physiologen die Meinung Eingang verschafft, das Wesentliche der physikalisch-mathematischen Methode bestehe in dem Streben, alle Beobachtung nur sofort an Mafs und Zahl zu binden. Es giebt viele, welche glauben, dafs schon allein mit der Gewinnung »exacterer numerischer Daten«, um mit der Schule zu reden, hier Alles gethan sei. Ja es fehlt nicht an solchen, für welche die Flächen- und Cubikinhaltberechnungen, in denen sich jenes Lehrbuch mit so grofser Vorliebe ergeht, als vollgültige Muster dastehen der Anwendung der Mathematik in der Physiologie.

Jener Vorstellung liegt zum Theil etwas Richtiges zu Grunde. Der Werth einer zuverlässigen Zeit-, Mafs- oder Gewichtsbestimmung wird gehörigen Ortes unschätzbar sein. Eine Bestimmung der Art kann unentbehrlich werden, wo es sich um praktische Zwecke handelt. Auch ist es gewifs

löblich, zum Besten kommender Geschlechter Constanten der Natur schon jetzt festzustellen. Die physikalisch-mathematische Forschung unterläfst denn auch in der That nie, wo es irgend angeht, zu messen, zu wägen oder die Zeit zu zählen.

Irrthümlich aber ist die angedeutete Meinung in so fern, als sie gerade das Wesen der Methode in diese Eigenthümlichkeit setzt, welche man doch mit eben dem Rechte auch nur für eine zufällige Aeufserlichkeit derselben ausgeben könnte. Die Gewinnung von Zahlenwerthen ist eine natürliche Ergänzung des Verfahrens, welche nicht entbehrt werden kann, wenn es seine ganze Macht entfalten soll. Aber der eigentliche Kern desselben ist sie darum noch nicht. Wenn das Streben danach in der Physik, der man nachzueifern wünscht, überall so entschieden hervortritt, so beruht dieser mifsleitende Schein nur darauf, dafs hier die einfache Natur der Gegenstände die Anwendung der Methode in einer Vollkommenheit zuläfst, wobei sie sich der Mafsbestimmung weder zu entschlagen braucht, noch sich ihr länger ohne Nachtheil entziehen kann.

Der wahre Keim der Methode also, der Anfang der physikalisch-mathematischen Behandlungsweise, liegt in etwas Anderem. Er ist vielmehr zu suchen in dem Streben, sich den ursächlichen Zusammenhang der natürlichen Erscheinungen unter dem mathematischen Bilde der Abhängigkeit vorzustellen. Bei den Schwierigkeiten, welche die Natur der Gegenstände in der Physiologie diesem Streben entgegensetzt, nimmt alsdann die Thätigkeit des Forschers nothgedrungen eben jene Gestalt an, die vorhin von mir umrissen worden ist. Diese Art der Anschauung ist es, welche bisher in den meisten physiologischen Untersuchungen, auch solchen, die sich der höchsten »Exactität« befleifsigen, ganz vermifst wird, und von deren befruchtender Kraft, wenn es ihr erst gelingt, die etwas dicke Dotterhaut unserer Wissenschaft zu durchdringen, Vieles und

Grofses zu erwarten steht. Ohne sie bleiben alle auch noch so genauen Mafsbestimmungen vorläufig eben so todt, eben so trocken und unerspriefslich, als das blofse Ausmessen der Theile einer Maschine und ihrer Leistungen zum Durchschauen ihres Spiels. Mit Hülfe jener Anschauung dagegen wird man häufig, ich wiederhole es, die bedeutendsten Aufschlüsse erhalten sogar da, wo auch nicht einmal an die Gewinnung grob angenäherter Zahlenwerthe zu denken ist, wie für jetzt in der thierischen Elektricität. Dem Gewinn aber darf man selbst im schlimmsten Falle mit Bestimmtheit entgegensehen, dafs dadurch die Aufgaben auf die einfachste Form gebracht, die eigentlich zu beantwortenden Fragen in das hellste Licht gestellt, genug der klarste, der am leichtesten zu überblickende Ausdruck unseres Wissens über den zu erforschenden Punkt ganz von selbst gegeben sein werden.

Möchte es mir gelingen, durch diese Betrachtungen zu bewirken, was ich mir nicht schmeicheln darf, durch meinen eigenen Vorgang herbeizuführen. Möchten die Physiologen sich entschliefsen zur mathematischen Behandlungsweise so vieler dazu geeigneten Aufgaben ihres Gebietes, aber innerhalb der richtigen, vor der Hand durch die Natur der Dinge gesteckten, und nicht so bald zu überspringenden Schranken. Möchten sie sich nicht einschüchtern lassen durch das Mifsgeschick Valentin's, dessen Irrthümer zu einem guten Theile eben dem Umstande zuzuschreiben sind, dafs er sich nicht dergestalt zu bescheiden gewufst, sondern in einer sonst nur zu billigenden Richtung gleich gar zu hoch hinaus gewollt hat. Dieser war, allem seinem Formelwesen zum Trotz, des Geistes der physikalisch-mathematischen Methode im Grunde nicht voll und mächtig. Ihm lag es nur im Sinn, sie der Form nach, ihre äufsere Erscheinungsweise nachahmend, aus der Physik in die Physiologie zu übertragen. Unwissend, dafs ihm so zu sagen nur der letzte und höchste Grenzwerth der Methode begegnet war, unbe-

kannt mit dem allgemeinen Fall derselben, wollte er nur so gleich überall berechnete und beobachtete Zahlenwerthe nebeneinanderstellen, wie er es in den physikalischen Lehrbüchern gesehen hatte. Dieser Flug war zu kühn. Kein Wunder, dafs das aufgeklebte, nicht naturwüchsige Gefieder bald treulos hinwegschmolz, und nur dazu diente, aus erschwindelter Höhe einen um so kläglicheren Sturz vorzubereiten, je schimmernder und rauschender die ersten Flügelschläge erschienen waren.

Noch von einer anderen Seite her droht den Physiologen Entmuthigung auf dem empfohlenen Wege. Allzuleicht läfst sich, wie ich zu wissen glaube, die hochgestellte Kaste von Forschern, welche die geläuterten Regionen der mathematischen Physik inne hat, durch den Glanz ihrer Errungenschaften verleiten zur völligen Mifsachtung von Bestrebungen, wie die angegebenen. Es ist zu begreifen, dafs ein so matter Widerschein ihrer eigenen Thätigkeit ihnen nur armselig dünkt. Es ist nicht zu verwundern, dafs der Nothbehelf der ersten rohen Anschauung, bei dem wir stehn zu bleiben gezwungen sind, ihnen als nichts Besseres vorkommt denn als die tiefste Unwissenheit selbst. Wir aber werden uns dadurch nicht irre machen lassen, und jene sollten, im stolzen Genufs der Vorzüge, die sie der Natur ihrer Gegenstände verdanken, doch nie vergessen, dafs im Gebirge schon ein Fufspfad willkommen ist; dafs der Bergsteiger auf diesem Pfade dem auf ebenem Schienengleise Dahinrollenden auch seine Art des Selbstgefühls entgegenzusetzen hat; dafs endlich Fufswege den Heerstrafsen, Heerstrafsen den Eisenbahnen voraufgegangen sind. Mag immerhin, mit der hier auferlegten Entsagung, der physikalisch-mathematischen Methode gleichsam die Spitze abgebrochen sein. Der tiefen Nacht gegenüber, welche noch grofsentheils die Erscheinungen in den organischen Wesen umfängt, däucht uns die bezeichnete Stufe der Erkenntnifs, wo man sich zu ihr aufzuschwingen vermag, stets schon als ein

dankenswerthes, nicht selten bereits als ein blendend helles Licht.

Ich habe nun noch dem Leser ein Glaubensbekenntniſs abzulegen über einen Punkt, der mir sehr am Herzen liegt. Ich meine die allgemeinen Vorstellungen über das Wesen des sogenannten Lebensvorganges und der dabei thätigen Kräfte. Ich weiſs zwar, daſs ich hier nichts Neues vorzubringen habe. Ich habe auch keine Hoffnung, das Bekannte in eindringlicherer, überzeugenderer Weise wiederzugeben, als es schon viele Male ausgesprochen worden ist. Aber erstens wünsche ich, daſs man nicht darüber im Zweifel sei, unter welcher Flagge ich segle. Dies wird an manchen Stellen vielleicht dienen, den Curs, den ich nehmen werde, wenigstens von meinem Standpunkt aus gerechtfertigt erscheinen zu lassen. Für's zweite halte ich es für eines Jeden Pflicht, in solchem Kampfe gegen verjährte Vorurtheile, wo nur unaufhörlich erneutes Rütteln die dumpfe Macht des Widerstandes zu lüften vermag, es nicht an seinem, wenn auch noch so schwachem Arme fehlen zu lassen. Gerade weil solche Schlagworte wie die Vicq-d'Azyr's, die ich aus v. Humboldt's »*Versuchen über die gereizte Muskel- und Nervenfaser*«[1] entlehnt und als Wahlspruch dem ersten Bande dieses Werkes vorgesetzt habe; weil noch in neuerer Zeit solche Stimmen, wie die Schwann's[2], Schleiden's[3], Lotze's[4] und Anderer an vielen sonst hoch erleuchteten Köpfen spurlos vorübergegangen sind; gerade deshalb steht mir die Nothwendigkeit um so dringender vor

[1] Posen und Berlin 1797. S. daselbst Bd. II. S. 49. Anm.

[2] Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmung in der Structur und dem Wachsthum der Thiere und Pflanzen. Berlin 1839. S. 220.

[3] Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik u. s. w. Bd. I. Leipzig 1842. Methodologische Einleitung §. 11. Bd. II. 1843. S. 436.

[4] Allgemeine Pathologie und Therapie als mechanische Naturwissenschaften. Leipzig 1842. S. 19. — Artikel: »Leben. Lebenskraft« in Rud. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie mit Rücksicht auf physiologische Pathologie. Braunschweig 1842. Bd. I. S. XIX.

Augen, das so oft und trefflich Gesagte nochmals auf meine Weise nach Kräften in die Welt hineinzurufen.

Betrachtet man die unermefsliche Verwickelung der Lebensvorgänge; hat man die Schwierigkeiten erfahren, welche aus der Natur der organischen Theile für jeden Versuch einer strengen Bestimmung erwachsen: so kann man sich des Gedankens kaum erwehren, dafs die Anwendungsart der Mathematik, wie sie oben als die bisher einzig mögliche dargestellt wurde, in vielen Theilen der Physiologie, wie die erste, so auch die letzte und einzige Stufe sein dürfte, welche zu ersteigen uns vergönnt sein wird. Dies ist zu beklagen, da es so viel heifst, als dafs wir in diesen Theilen nie zu einem wirklichen Verständnifs, nämlich zu einer mechanischen Analysis der Vorgänge gelangen werden. In noch anderen Theilen aber scheint es sogar, als ob nicht einmal zu einem solchen Anfange der begreifenden Zergliederung die Aussicht vorhanden sei.

Dadurch werden sich aber diejenigen, welche mit mir eines Sinnes sind, nicht erschüttern lassen in der Ueberzeugung, dafs nichtsdestoweniger, wenn nur unsere Methoden ausreichten, eine analytische Mechanik sämmtlicher Lebensvorgänge möglich wäre. Diese Ueberzeugung beruht auf der Einsicht, die ja schon Aristoteles besafs, dafs alle Veränderungen in der Körperwelt in unserer Vorstellung zurückkommen auf Bewegungen. Also auch jene Vorgänge können nichts anderes sein als Bewegungen. Nun aber lassen sich alle Bewegungen schliefslich zerlegen in solche, welche erfolgen nach der zwei vorausgesetzte Stofftheilchen verbindenden Geraden, entweder in der einen, oder in der anderen Richtung. Also auf solche einfache Bewegungen müssen auch die Vorgänge in den organischen Wesen am letzten Ende zurückführbar sein. Diese Zurückführung würde eben eine analytische Mechanik jener Vorgänge abgeben. Man sieht daher, dafs, wenn die Schwierigkeit der Zergliederung nicht unser Vermögen überstiege, die analytische Mechanik

im Grunde reichen würde bis zum Problem der persönlichen Freiheit, dessen Erledigung Sache der Abstractionsgabe jedes Einzelnen bleiben mufs.

Als Ursache der Bewegungen werden insgemein betrachtet die Kräfte. Diese Vorstellung ist zwar grundlos; wir können aber vor der Hand dabei stehen bleiben, da das Unzulängliche davon erst bei einem vorgerückteren Stande der Untersuchung gefährlich zu werden anfängt. Da die Bewegungen in der Richtung der Kräfte erfolgen sollen, so ist mit dem Vorhergehenden bereits ausgesprochen, dafs es weder in der anorganischen, noch der organischen Natur Kräfte gebe, deren letzte Componenten nicht entweder einfach anziehende oder abstofsende, sogenannte Centralkräfte seien. Man sieht daher, und bei dieser Bemerkung wollen wir es zunächst bewenden lassen, dafs der einzige Unterschied, der noch denkbar ist zwischen den Vorgängen der anorganischen und denen der organischen Natur, zu suchen sein würde in einer Verschiedenheit der Centralkräfte, womit die Stofftheilchen in beiden ausgerüstet gedacht werden.

Bei einem sehr abweichenden Ergebnifs hat sich, bis auf den heutigen Tag, die grofse Mehrzahl der Physiologen, Philosophen, kurz aller derjenigen beruhigt, die es zu ihrem Geschäft machten, über das Wesen der Lebensvorgänge nachzudenken. Ihre Ansichten sind zu dunkel und zu unbestimmt, als dafs sie mit Klarheit und Schärfe in einen Ausdruck zusammenzufassen wären. Im Allgemeinen aber laufen sie darauf hinaus, anzunehmen eine Lebenskraft als Ursache und obersten Ordner aller Lebenserscheinungen. Diese Kraft bewohne den ganzen Körper, ihr unbewufst-bewufstes Wesen treibend auf dem geheimnifsvollen, ja übersinnlichen Hintergrunde eines Schauplatzes, auf dessen äufserster Vorbühne allein alles sinnlich Erreichbare, Erklärliche spielt. Sie sei im Innersten verschieden von allen physikalischen und chemischen Kräften, welche in der anorganischen Natur walten, und in Ewigkeit entzogen und unzugänglich

den ohnmächtigen Methoden, die vermocht haben die Wirkungsweise dieser Kräfte zu durchschauen. Vor ihr müssen diese Kräfte sich beugen. Es ist ihr gegeben, zu binden und zu lösen, wie es ihr gefällt. Sie bemächtigt sich der eingeführten Nahrungsmittel, macht sie zu belebter Materie, verwendet sie eine Zeit lang zu ihren Zwecken und stöfst dann das Untauglichgewordene wieder von sich. Bei der Fortpflanzung überträgt sie sich, ohne selbst etwas einzubüfsen, auf den Keim des neuen Geschöpfs. Sie widersteht während des Lebens der feindseligen Gefräfsigkeit des Sauerstoffs, der nach unserer Kohle lechzt. Sie verbietet der Fäulnifs Platz zu greifen, so lange sie Herr im Hause ist. Nach dem Tode jedoch zieht sie sich bescheiden und ohne dafs eine Spur von ihr übrig bliebe hinter die Coulissen zurück. Diese Dienstmagd für Alles besitzt übrigens sehr mannigfaltige Kenntnisse und Fertigkeiten. Denn sie organisirt, assimilirt, secernirt, reproducirt, sie leitet die Entwickelung; resorbirt und unterscheidet noch dazu das Heilsame vom Gifte, das Nützliche vom Unbrauchbaren; sie heilt Wunden und macht Krisen; sie ist der letzte Grund der thierischen Bewegungen, der sogenannten Seele hilft sie wenigstens beim Denken u. d. m.

In der That, so traurig es ist, dafs solche Meinungen im Sinne Vieler sich noch immer das Dasein zu fristen im Stande sind, die Heiterkeit, welche ihre Abgeschmacktheit erregt, ist von den Eindrücken, die sie hervorrufen, doch bei weitem der überwiegende. Es ist nun allerdings nicht zu leugnen, dafs dieselben sich, in dieser vollen Blöfse, nicht so leicht mehr über die Strafse wagen. Es sind, zu ihrer Verhüllung, allerlei Deckmäntelchen erfunden worden. Allein selbst jene »Geifsel Gottes«, welche in unseren Tagen über die Physiologen verhängt wurde, selbst Liebig, der sich in diesen Dingen gewifs des äufsersten Radicalismus schmeichelt, er würde sich nicht weigern dürfen, in dem obigen Gemälde so manchen Zug seiner »Lebenskraft« wie-

anorganischen und denen der organischen Natur kein anderer Unterschied denkbar sei, als derjenige, dafs in beiden die Stofftheilchen mit verschiedenen Kräften ausgerüstet seien. Ob eine solche Verschiedenheit wirklich stattfinde, haben wir noch unerörtert gelassen. Den Vertheidigern der Lebenskräfte erscheint dieselbe als eine ausgemachte Sache, und sie würde nach ihnen, wenn sie folgerichtig schliefsen wollen, also zu suchen sein eben in jenen neuen Kräften, womit die Stofftheilchen in den Organismen ausgerüstet werden.

Diese Annahme ist unhaltbar. Um dies zu zeigen, ist es nöthig, etwas tiefer einzugehen auf den Begriff, der zu verbinden ist mit dem Worte »Kraft«. Wir haben oben für einen Augenblick gelten lassen die Bestimmung der Kraft als der Ursache der Bewegung. Es ist dies eine bequeme Redeweise, deren man sich nicht leicht entschlagen kann, und sich ihrer auch immerhin bedienen mag. Nur darf man nie vergessen, dafs der Kraft in diesem Sinne keine Wirklichkeit zukommt, sowie man an den Grund der Erscheinungen denkt. Geht man auf diesen Grund, so erkennt man bald, dafs es weder Kräfte, noch Materie giebt. Beides sind von verschiedenen Standpunkten aus aufgenommene Abstractionen der Dinge wie sie sind. Sie ergänzen einander, und sie setzen einander voraus. Vereinzelt haben sie keinen Bestand, so dafs die vorstellende Thätigkeit, indem sie das Wesen der Dinge zu zergliedern strebt, keinen Ruhepunkt findet, sondern in's Unendliche zwischen beiden Abstractionen hin und her schwankt.

Die Kraft in jenem Sinne ist nichts als eine versteckte Ausgeburt des unwiderstehlichen Hanges zur Personification, der uns eingeprägt ist; gleichsam ein rhetorischer Kunstgriff unseres Gehirns, das zur tropischen Wendung greift, weil ihm zum reinen Ausdruck die Klarheit der Vorstellung fehlt. In den Begriffen von Kraft und Materie sehen wir wiederkehren denselben Dualismus, der sich in den Vorstellungen von Gott und der Welt, von Seele und Leib hervordrängt.

Es ist, nur verfeinert, immer noch dasselbe Bedürfnifs, welches einst die Menschen trieb, Busch und Quell, Fels, Luft und Meer mit Geschöpfen ihrer Einbildungskraft zu bevölkern. Was ist gewonnen, wenn man sagt, es sei die gegenseitige Anziehungskraft, wodurch zwei Stofftheilchen sich einander nähern? Nicht der Schatten einer Einsicht in das Wesen des Vorganges. Aber, seltsam genug, es liegt, für das uns innewohnende Trachten nach den Ursachen, eine Art von Beruhigung in dem unwillkürlich vor unserm innern Auge sich hinzeichnenden Bilde einer Hand, welche die träge Materie leise vor sich herschiebt, oder von unsichtbaren Polypenarmen, womit die Stofftheilchen sich umklammern, sich gegenseitig an sich zu reifsen suchen, endlich in einen Knoten sich verstricken.

Fragt man, was denn übrig bleibe, wenn weder Kräfte noch Materie Wirklichkeit besitzen, so antworten diejenigen, die sich mit mir auf diesen Standpunkt stellen, folgendermafsen. Es ist dem menschlichen Geiste nun einmal nicht beschieden, in diesen Dingen hinauszukommen über einen letzten Widerspruch. Wir ziehen daher vor, statt uns zu drehen im Kreise fruchtloser Speculationen oder mit dem Schwerdte der Selbsttäuschung den Knoten zu zerhauen, uns zu halten an die Anschauung der Dinge wie sie sind, uns genügen zu lassen, um mit dem Dichter zu reden, an dem »Wunder dessen, was da ist.« Denn wir können uns nicht dazu verstehen, weil uns auf dem einen Wege eine richtige Deutung versagt ist, die Augen zu schliefsen über die Mängel einer andern, aus dem einzigen Grunde, dafs keine dritte möglich scheint; und wir besitzen Entsagung genug, um uns zu finden in die Vorstellung, dafs zuletzt aller Wissenschaft doch nur das Ziel gesteckt sein möchte, nicht das Wesen der Dinge zu begreifen, sondern begreiflich zu machen, dafs es nicht begreiflich sei. So hat sich's schliefslich als die Aufgabe der Mathematik herausgestellt, nicht den Kreis zu quadriren, sondern zu zeigen, dafs er nicht zu quadriren

sei; der Mechanik, nicht ein Perpetuum mobile herzustellen, sondern die Fruchtlosigkeit dieser Bemühung darzuthun.

Vor unserem Denken, das vor keiner Consequenz zurückscheut, löst sich das Weltganze daher auf in bewegte Materie, deren Wesen zu erfassen wir nicht für möglich halten. Die Gesetze der Bewegungen, weniger ihre Ursachen, kennen zu lernen, erscheint uns als erreichbare Aufgabe unseres Strebens. Nun kann das Wort Kraft für uns keine andere Bedeutung mehr haben, als die, wodurch es der analytischen Mechanik so grofse Dienste geleistet hat. Die Kraft ist uns das Mafs, nicht die Ursache der Bewegung. Mathematisch ausgedrückt, sie ist die zweite Ableitung des Weges des in veränderlicher Bewegung begriffenen Körperlichen nach der Zeit. Und es ist wohl zu bemerken, dafs bereits Newton, unstreitig den Mifsbrauch ahnend, der nachmals getrieben werden sollte mit der Anziehungskraft als Ursache des Falles der Körper, gleich anfangs warnend darauf bestand, man möge jenen Sinn des Wortes Kraft als den einzig statthaften festhalten [1].

Die Wirkungen sind den Ursachen proportional. Es gehen daher für den gemeinen Sprachgebrauch, und wenn es sich nicht um die letzten Gründe handelt, keine merkbare Störungen hervor aus der Verwechselung des Mafses der Wirkung mit der Ursache, des richtigen Begriffes der Kraft mit dem irrthümlichen. Deshalb konnten wir uns oben des letzteren bis auf Weiteres ohne Nachtheil bedienen, und werden unter dem dargelegten Vorbehalt auch keinen Anstand nehmen, dies noch fernerhin zu thun. An jener Stelle gelangten wir damit bis an den Punkt, wo wir einsahen, dafs kein anderer Unterschied obwalten könne zwischen der

[1] Philosophiae naturalis Principia mathematica. Coloniae Allobrogum 1760. 4°. t. I. p. 11.° »... Mathematicus duntaxat est hic conceptus. Nam virium causas et sedes Physicas jam non expendo ... Unde caveat lector, ne per hujusmodi »voces cogitet me speciem vel modum actionis causamve aut rationem Physicam alicubi definire, vel centris (quae sunt puncta Mathematica) vires vere et Physice tribuere; si forte aut centra trahere, aut vires centrorum esse dixero.«

anorganischen und der organischen Natur, als dafs die Stofftheilchen in beiden mit verschiedenen Kräften ausgerüstet seien. Jetzt aber sind wir im Stande, weiter zu gehen und dabei wird sich uns zugleich enthüllen die ganze Schwäche des Gegners, den wir hier bekämpfen.

Es ist nämlich klar, dafs es unter diesen Umständen gar keinen Sinn mehr bietet, wenn die Rede ist von einer Kraft als einem selbständigen Dinge, welches der Materie gegenüber ein unabhängiges Dasein behaupte; welches aufserhalb derselben befindlich, auf sie wirke, wenn sie zufällig in seinen Bereich geräth; welches ihr ferner zeitweise zuertheilt und wiederum von ihr abgelöst werden könne. Nur die unerforschliche Zweieinigkeit, in der wir vereint Materie und Kraft erkennen, kann bewegend und bewegt werdend in Wechselwirkung gerathen mit ihres Gleichen, dem gleich Unerforschlichen. Die Materie ist nicht wie ein Fuhrwerk, davor die Kräfte, als Pferde, nach Belieben nun angespannt, dann wieder abgeschirrt werden können. Ein Eisentheilchen ist und bleibt zuverlässig ein und dasselbe Ding, gleichviel ob es im Meteorstein den Weltkreis durchzieht, im Dampfwagenrade auf den Schienen dahinschmettert, oder in der Blutzelle durch die Schläfe eines Dichters rinnt. So wenig, als in dem Mechanismus von Menschenhand, ist in dem letzteren Falle irgend etwas hinzugetreten zu den Eigenschaften jenes Theilchens, irgend etwas davon entfernt worden. Diese Eigenschaften sind von Ewigkeit, sie sind unveräufserlich, unübertragbar.

Es kann daher nicht länger zweifelhaft bleiben, was zu halten sei von der Frage, ob der von uns als einzig möglich erkannte Unterschied zwischen den Vorgängen der todten und unbelebten Natur auch wirklich bestehe. Ein solcher Unterschied findet nicht statt. Es kommen in den Organismen den Stofftheilchen keine neue Kräfte zu, keine Kräfte, die nicht auch aufserhalb derselben wirksam wären. Es giebt also keine Kräfte, welche den Namen von Lebens-

kräften verdienen. Die Scheidung zwischen der sogenannten organischen und der anorganischen Natur ist eine ganz willkürliche. Diejenigen, welche sie aufrecht zu erhalten streben, welche die Irrlehre von der Lebenskraft predigen, unter welcher Form, welcher täuschenden Verkleidung es auch sei, solche Köpfe sind, mögen sie sich dessen für versichert halten, niemals bis an die Grenzen ihres Denkens vorgedrungen.

Es giebt keine Lebenskraft in ihrem Sinne, weil die ihr zugeschriebenen Wirkungen zu zerlegen sind in solche, welche von Centralkräften der Stofftheilchen ausgehen. Es giebt keine solche Kraft, weil Kräfte nicht selbständig bestehen, nicht der Materie willkürlich zuertheilt und dann wieder von ihr abgelöst werden können. Es giebt überhaupt keine Kräfte, und wenn man von Kräften reden will, so mufs man es wenigstens nur in der Weise thun, dafs diese Fiction auch wirklich die Dienste leiste, zu welchen sie berufen ist, nicht aber den Schein gewähre einer Einsicht, die jedes Grundes entbehrt.

Aber noch von einem dritten Standpunkt aus läfst sich die Lehre von der Lebenskraft mit Erfolg angreifen. Zwar setzt derselbe wiederum voraus, dafs man keine andere als Centralkräfte der Stofftheilchen annehme und in so fern kann er auch als kein neuer betrachtet werden. Indessen stützt er sich doch auf einen ganz besonderen Kreis von Folgerungen aus jener Annahme, wodurch sich die Anhänger der Lebenskraft in eine neue Reihe von Verlegenheiten verwickelt sehen. Ich meine den Grundsatz von der »Erhaltung der Kraft.« Gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts erhob Lavoisier die Chemie zu einer Wissenschaft, indem er, die Wage in Händen, die Constanz der Materie nachwies. Eine nicht minder grofsartige Errungenschaft steht, als natürliche Ergänzung jener, in unseren Tagen in Aussicht, ja ist schon zu einem guten Theil geborgen. Erst durch sie wird für die Physik ein Haltpunkt gewonnen, der dafür die nämliche Bedeutung hat, wie der von Lavoisier erkannte für die

Chemie. Nachdem S. CARNOT zuerst die Betrachtung angestellt, dafs es ungereimt scheine, anzunehmen, Kraft könne aus nichts geschaffen werden, nachdem CLAPEYRON, HOLTZMANN, NEUMANN einzelne Anwendungen davon gemacht, hat sich neuerdings HELMHOLTZ damit beschäftigt, diese Ansicht vollständig zu begründen, sie auf alle Zweige der theoretischen Naturwissenschaft auszudehnen, und ihr unermefsliches Gewicht, als eines obersten Führers beim Erforschen des Zusammenhanges der natürlichen Erscheinungen, fühlbar zu machen. Das Ergebnifs seiner tiefsinnigen Untersuchungen ist, dafs »stets die Summe der vorhandenen lebendigen und Spannkräfte constant sei.« S. das Nähere, auf das wir uns hier nicht einlassen können, in seiner Schrift: »*Ueber die »Erhaltung der Kraft, eine physikalische Abhandlung »u. s. w.*« Berlin 1847. Die Richtigkeit jenes Gesetzes hat den höchsten Grad von Wahrscheinlichkeit für sich, insofern dasselbe »keiner der bisher bekannten Thatsachen der Na»turwissenschaften widerspricht, von einer grofsen Zahl der»selben aber in einer auffallenden Weise bestätigt wird.«

Mit demselben nun stehen offenbar im grellsten Widerspruche wenigstens ein paar Hauptzüge der Lehre von der Lebenskraft, wie man sie gewöhnlich vortragen hört. Denn sie soll z. B. bei der Fortpflanzung ohne Verlust übertragen und dergestalt in's Unbegrenzte vermehrt werden. Hingegen im Tode soll sie ein unbedingtes Ende nehmen, um den gemeinen physikalischen und chemischen Kräften das Feld zu räumen. Beides ist, wie man leicht gewahr wird, mit dem Satze von der Erhaltung der Kraft in keiner Weise zu vereinbaren.

Die Schlüsse, mit denen wir uns von den beiden ersten Gesichtspunkten aus gegen die Lebenskraft verwahrt haben, scheinen so natürlich, dafs man schwer begreift, wie die Anhänger der bekämpften Lehre diesen Weg nicht haben finden können. Dies erklärt sich indefs daraus, dafs, wie naheliegend auch der Eingang desselben scheint, die Betrach-

tungen der Gegenpartei sich doch im Allgemeinen gar nicht auf diesem Gebiete bewegt haben. Diejenigen, die es überhaupt betraten, verliefsen es auch schwerlich, ohne zu denselben Ergebnissen gelangt zu sein wie wir. Allein meist drehte sich die Frage um einige an der Oberfläche hervorragende Punkte, ohne sich weiter um die Grundbegriffe zu kümmern, bei deren Insreinebringen doch auch jenen eine schnelle Erledigung geworden wäre. Ich meine jenes Heer abgegriffener Bedenklichkeiten: die belebten Wesen zeigten eine Menge von Erscheinungen, zu denen die todte Natur kein Seitenstück biete; man könne so Vieles nicht erklären, ja nicht einmal hoffen, dafs man dies je vermögen werde; nicht einmal ein Baumblatt könne man der Natur nachmachen; die Zweckmäfsigkeit endlich sei gar zu wunderbar. Dies Alles könne nicht mit rechten Dingen zugehn, und da es doch nothwendig erklärt werden müsse, so bleibe nichts übrig als es der Lebenskraft zuzuschreiben. Sehen wir zu, ob eine derartige Folgerung denn wirklich unabweisbar feststehe.

Wenn die Organismen Erscheinungen darbieten, die in der organischen Natur nicht vorkommen, sollte dies nicht einfach daher rühren, dafs die Stofftheilchen in denselben, obschon mit ganz den nämlichen und keinen anderen Eigenschaften begabt als aufserhalb derselben, doch zu einander in neue Beziehungen treten und neue Verbindungen eingehen? Was Wunder, wenn diese Neues zu leisten im Stande sind?

Wenn wir die neuen Erscheinungen nicht zu erklären vermögen, warum soll dies noch an etwas Anderem liegen als an der grenzenlosen Mannigfaltigkeit, Verwickelung und Versteckheit jener neuen Beziehungen? Scheitert nicht unsere Zergliederung schon in viel engerem Kreise, an viel einfacheren Aufgaben? Ist es denn so leicht, zu Rande zu kommen mit allen Vorgängen der sogenannt anorganischen Natur? Die Physiologen, die sich auf das Dunkel zu be-

rufen pflegen, welches die Gegenstände ihrer Forschung ewig zu umhüllen droht, scheinen zu vergessen, wenn sie sich dessen je bewufst waren, wie nahe Grenzen unserer Erkenntnifs auch in der Physik und Chemie gezogen sind. Was ist denn jene Elektricität, jener Magnetismus, jene Wärme, deren Namen uns, eingeschläfert wie wir sind durch die lange Gewöhnung unserer Unwissenheit, so leicht über die Lippen gleiten? Was geht denn vor, wenn Säure und Basis zum Salz ihr Ehebündnifs schliefsen? Ist nicht in der That die ganze Chemie, trotz dem gerühmten Verständnifs in derselben, noch immer nichts Besseres als gleichsam eine doppelte Buchführung mit den Stoffen, wo Soll und Haben einander heben müssen, damit der Kaufmann seine Rechnung finde?

Allerdings können wir eine Menge chemischer Processe nicht nachmachen, die in den belebten Wesen vor sich gehen, vermuthlich aber doch nur deshalb, weil wir die Bedingungen nicht kennen, geschweige sie zu verwirklichen wüfsten, welche dazu nöthig sind. Dem öfter gestellten Ansinnen, wenn denn nur physikalische und chemische Kräfte in den Organismen walteten, doch einmal, durch solche Kräfte allein, einen neuen Organismus herzustellen, diesem Ansinnen liegt der nämliche Mangel an Ueberlegung zu Grunde. Als ob wir alle Leistungen der anorganischen Natur aus dem Aermel schüttelten! Als ob es nur so bei uns stände, das ganze Heer der Felsarten und Gesteine aus unseren Laboratorien hervorgehen zu lassen! Warum verfertigen wir so viele nützliche Stoffe nicht, die uns die todte Natur nur spärlich zugemessen hat? Weil, selbst wenn man mit Bestimmtheit wüfste, wie sie entstanden sind, unsere armseligen Mittel, die unmerkliche Spanne Zeit, über die wir zu gebieten haben, es uns nicht verstatten würden. Weshalb gelingt es uns andere Male, verschiedene Krystalle, Individuen der todten Natur, nach Belieben ins Dasein zu rufen? Weil wir die Bedingungen ihres Entstehens kennen und sie

nachzuahmen wissen. Nun denn, so wird es wohl auch Umstände gegeben haben, unter welchen die organischen Wesen entstanden, und wer darf sagen, dafs wir nicht vermöchten, dergleichen zu verfertigen, wenn wir vermögend wären, jene Umstände herzustellen? Gegen solche freilich, die es vorziehen, sich die Entstehung der Organismen zu erklären durch einen willkürlichen Eingriff in die Naturgesetze wie sie noch heute sind, gegen solche ist mit Gründen nichts auszurichten. Nur möchte ihnen die oben bereits angedeutete Betrachtung zur Beherzigung empfohlen sein, dafs es keinen Beweis für die Richtigkeit ihrer Theorie liefert, wenn sie ihnen als die einzig mögliche erscheint.

Was die Zweckmäfsigkeit in der organischen Natur anlangt, so will ich mich nicht erst darauf einlassen, das Kindliche dieser Vorstellungsweise überhaupt zu würdigen. Ich begnüge mich damit, denen, die sich nicht davon loszusagen wissen, die Frage vorzulegen, ob sie denn die anorganische Natur so unzweckmäfsig eingerichtet finden? Ist es nicht vortheilhaft, dafs, Dank einem System ausgleichender Berichtigungen, dem keine Correctionen an einer Oertling'schen Theilmaschine, kein Siemens'scher Differential-Regulator an Treue und Sicherheit gleichkommen, unser Weltenschiff keine Gefahr läuft in die Sonne zu stürzen, oder in seinem reifsenden Fluge mit einem ähnlichen Segler zusammenzustofsen? Sind nicht Mond- und Sonnenschein, der Wechsel der Jahreszeiten, von Tag und Nacht, die Erdwärme, das Mafs der Schwere hienieden, der Kreislauf der Gewässer durch Wolken, Regen, Ströme und Meer, und tausend ähnliche Umstände, gar vortreffliche Dinge? Ist es nicht gut, dafs der Luftkreis gerade diese und keine andere Zusammensetzung hat, dafs das Eis auf dem Wasser schwimmt? Und hätte am Ende in manchen Stücken die organische Natur nicht noch zweckdienlicher angeordnet werden können, da sie nun einmal, oh des ewigen Anthropomorphismus! nach Zwecken verfertigt sein soll?

Wie man sieht, diese Art der Begründung der Lehre von der Lebenskraft beruht vollends auf einer Reihe von Mifsverständnissen. Alle jene aufserordentliche Eigenschaften, welche der organischen Natur aufgebürdet werden und sie angeblich vor der anorganischen Natur auszeichnen und zur Annahme einer Lebenskraft berechtigen sollen, kommen, auf ihr richtiges Mafs zurückgeführt, dieser in gröfserem oder geringerem Grade ebenfalls zu. Unter diesen Umständen ist der Vortheil wenigstens der Einheit der Weltanschauung, im Vergleich zu den Anhängern der Lebenskraft, unstreitig noch auf Seite derer, welche, wie die weiland naturphilosophische Schule, den ganzen Kreis der organischen sowohl als der anorganischen Erscheinungen unter eine Falte ihres mystischen Schleiers begraben.

Obschon die Meteorologie noch nicht weifs, wie ein Gewitter zu Stande kommt, und auf das Vorhersagen des Wetters, vollends das Wettermachen, grofsentheils Verzicht geleistet hat, sind doch aus ihr die Götter längst verbannt. Obschon die Chemie noch keine Vorstellung hat von dem, was bei dem einfachsten ihrer Versuche vorgeht, hat sie sich doch längst ihrer Geister begeben. Sollte die Zeit nie kommen, wo sich die Physiologie ein Herz fassen wird, den thönernen Abgott zu zertrümmern, vor dem sie noch immer Opfer bringt? Sollte es nicht angemessen sein, wenn sie endlich, in förmlicher Entsagung, ein für allemal mit der Lebenskraft bräche, wie vor hundert Jahren Gottsched zu Leipzig in feierlicher Handlung den Hanswurst von der Deutschen Schaubühne trieb?

Die Physiologie wird ihr Schicksal erfüllen. Wie man den Verlauf einer Curve, von der ein Stück gegeben ist, darüber hinaus ins Unbekannte verfolgen kann, so läfst sich auch in der Geschichte aus der Vergangenheit die Zukunft am sichersten erschliefsen. Betrachtet man den Entwickelungsgang unserer Wissenschaft, so ist nicht zu verkennen, wie das der Lebenskraft zugeschriebene Gebiet von Erschei-

nungen mit jedem Tage mehr zusammenschrumpft, wie immer neue Landstriche unter die Botmäfsigkeit der physikalischen und chemischen Kräfte gerathen. Es kann daher nicht fehlen, um ein in dem Augenblicke, wo ich dieses schreibe, nah liegendes Gleichnifs zu wählen, es kann nicht fehlen, dafs dereinst die Physiologie, ihr Sonderinteresse aufgebend, ganz aufgeht in die grofse Staateneinheit der theoretischen Naturwissenschaften, ganz sich auflöst in organische Physik und Chemie; und es kann sich nur darum handeln, ob sie sich von den Ereignissen unverständig überraschen lassen will, oder ob sie nicht lieber, das Unvermeidliche erkennend und bei Zeiten darin sich fügend, dem Gange des Geschicks mit Bewufstsein entgegenkommen soll.

Durch meine Untersuchungen wird, wenn ich nicht irre, die Lebenskraft abermals vertrieben aus einer ihrer Verschanzungen, und zwar nicht der am wenigsten hartnäkkigen. Ich würde mich glücklich schätzen, wenn ich dadurch zur erneuten Untergrabung ihres Ansehns in dem Sinne Einiger könnte beigetragen haben. Aber freilich, wenn man die vergeblichen Bemühungen betrachtet, die schon hierauf verwendet worden sind, so möchte man fast meinen, der Glaube an die Lebenskraft sei, wie auch andere Dogmen, weniger eine Sache der wissenschaftlichen Ueberzeugung, als eine des gemüthlichen Bedürfnisses für gewisse Organisationen, und daher, gleich jenen Dogmen, im Grunde unvertilgbar.

---

Die Uebersicht über das Werk zu erleichtern, schicke ich folgende Bemerkungen über seine äufsere Einrichtung vorauf.

Das Ganze zerfällt, aufser der Einleitung, in vier Abschnitte.

Die Einleitung giebt eine Begriffsbestimmung der physiologischen Elektricität und einen allgemeinen Ueberblick

den Erscheinungen an Pflanzen und Thieren, welche, zufolge derselben, dahin zu rechnen sind.

Der I. Abschnitt ist rein geschichtlich. Er behandelt im 1. Kapitel die ältere Geschichte des Froschstromes, von GALVANI's Entdeckungen bis zum Untergange der thierischen Elektricität zu Anfang dieses Jahrhunderts; im 2. die neuere Geschichte desselben von NOBILI's Entdeckung seiner elektromagnetischen Wirkung bis zu der Zeit, wo ich anfing mich damit zu beschäftigen. Das 3. Kapitel enthält die oben S. XXII. XXIII. bereits besprochene Kritik einiger hiehergehörigen Arbeiten VALENTIN's.

Der II. Abschnitt ist vornehmlich gewidmet der Beschreibung der Vorrichtungen und Versuchsweisen. Das 1. Kapitel lehrt die Einrichtung und den Gebrauch eines zu thierisch-elektrischen Versuchen bestimmten Multiplicators kennen. Eine Ergänzung dazu, welche ich denjenigen zur Berücksichtigung empfehle, die sich der Wiederholung der Versuche unterziehen wollen, findet sich noch im 7. Kapitel desselben Abschnitts. Sodann giebt das 1. Kapitel eine Anweisung, thierische Theile an dem Multiplicator auf Stromentwickelung zu untersuchen. Das 2. Kapitel handelt vom Froschschenkel als stromprüfendem Mittel. Ich habe, in Ermangelung eines andern, diesen Ort gewählt, um fast die gesammte Lehre von den elektrischen Reizversuchen abzuhandeln; jedenfalls nicht sehr glücklich, da bei den geschichtlichen Entwickelungen, welche dies nach sich zog, die methodologische Bestimmung des Abschnitts allerdings etwas über die Gebühr aus den Augen gesetzt worden ist. Hier findet man das von mir schon anderwärts[1] bekannt gemachte allgemeine Gesetz der Nervenerregung durch den elektrischen Strom; die Geschichte des PFAFF'schen von mir sogenannten Gesetzes der Zuckungen; die der RITTER'schen Modificationen

[1] Die Fortschritte der Physik im Jahre 1845. Dargestellt von der physikalischen Gesellschaft zu Berlin. I. Jahrgang. Berlin 1847. S. 504.

der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten und der sich daran knüpfenden Voltaïschen Abwechselungen (Alternatives voltaïques), nebst den fälschlich damit in Verbindung gebrachten Peltier'schen Ladungen an thierischen Theilen, welche einem Strome ausgesetzt werden; ferner eine Abhandlung über die unipolaren Inductionszuckungen, die ich auch schon an einem andern Orte [1] öffentlich besprochen habe. Sie gehört hieher, insofern durch diese Erscheinung bei dem häufigen Gebrauch von Inductionsströmen zur Erregung von Zuckungen in thierisch-elektrischen Versuchen besondere Mafsregeln der Isolation der thierischen Theile nothwendig werden, um gefährlichen Täuschungen vorzubeugen. Das 3. Kapitel zeigt die Anwendung der Elektrolyse als stromprüfenden Mittels in thierisch-elektrischen Versuchen. Endlich im 4. Kapitel beschreibe ich einige von mir durchgängig gebrauchte, theils schon bekannte, theils eigends für meine Zwecke erfundene Vorrichtungen.

Dieselben sind gröfstentheils, wie auch die vielen sonst noch im Dienste einzelner Versuche auftretenden Geräthschaften, von den Herren Boetticher und Halske angefertigt. Ich ergreife diese Gelegenheit, denselben öffentlich meinen Dank darzubringen für die aufopfernde Bereitwilligkeit, mit welcher sie nicht aufgehört haben, mich während der längsten Zeit meiner Arbeiten zu unterstützen. Ich kann nicht mehr sagen, als dafs es mir geradezu unmöglich gewesen wäre, diese Arbeiten auszuführen, wo fast jeder neue Versuch eine neue mechanische Vorkehrung verlangte, wenn mir nicht in jedem Augenblick ihr überlegener Rath zur Seite, ihre kunstreiche Hand zu Gebote gestanden hätte.

Der III. Abschnitt giebt zunächst in acht Kapiteln die Untersuchung selber.

Die drei ersten Kapitel enthalten beziehlich die Zurückführung des Nobili'schen Froschstromes auf einen allgemein

[1] Ebendas. S. 538.

vorhandenen Muskelstrom, das Gesetz des Muskelstromes und die physikalische Zergliederung dieses Gesetzes. Mit letzterer wird beiläufig der Leser schwerlich unzufriedener sein, als ich selbst. Nichtsdestoweniger ist die Wichtigkeit der durch Versuche an schematischen Vorrichtungen verbürgten Ergebnisse dieser Zergliederung für alles folgende so bedeutend, dafs ich ihn auffordern mufs, sich von einer gründlicheren Kenntnifsnahme nicht abschrecken zu lassen durch die ermüdende Länge und theilweise Dunkelheit der Darstellung, welche aus der Natur des Gegenstandes und der Entbehrung der Hülfsmittel der Rechnung hervorgegangen sind. Mit dem 3. Kapitel schliefst der erste Band, ohne dafs jedoch dadurch eine Eintheilung bedingt wäre. Das 4. Kapitel handelt von dem Einflufs der Zusammenziehung auf den Muskelstrom, wobei Matteucci's »Contraction induite« ihre Erklärung findet. Auch gebe ich hier einen Ueberblick über die so mannigfaltigen früheren Bestrebungen, elektrische Wirkungen bei der Zusammenziehung wahrzunehmen. Das 5. Kapitel beschäftigt sich mit dem Einflufs verschiedener physiologischer, physikalischer, chemischer Bedingungen auf den Muskelstrom. Im 6. Kapitel werden zunächst die verschiedenen Formen des Muskelgewebes, dann auch die übrigen thierischen Gewebe auf einen Strom untersucht. Dies führt auf den Nervenstrom, vor welchem der Muskelstrom nun vorläufig in den Hintergrund tritt. Abermals ist eine geschichtliche Mittheilung eingeflochten über die früheren Versuche, elektrische Ströme in den Nerven zu entdecken. Die Erforschung des Nervenstromes am ruhenden Nerven füllt im Uebrigen das 6. Kapitel aus. Das 7. hat es zu thun mit den Veränderungen des Nervenstromes in dem auf mannigfache Art erregten Nerven. Im 8. Kapitel wendet sich die Untersuchung auf den Muskelstrom zurück, insofern sich sein Dasein und das der nämlichen Veränderung bei der Zusammenziehung auch am lebenden unversehrten thierischen oder menschlichen Körper beurkunden lassen. Es finden sich an-

gehängt einige, durch Versuche unterstützte Betrachtungen über die chemischen Vorgänge, welche in den Muskeln die Erscheinung ihres Stromes begleiten mögen.

Das 9. Kapitel ist bestimmt, einen Ueberblick zu geben über die allgemeine Muskel- und Nervenphysik in ihrem heutigen Zustande. Im 10. Kapitel komme ich auf die elektromotorischen Fische zu sprechen. Ich habe zwar bisher nicht Gelegenheit gehabt, Versuche an diesen Thieren selber anzustellen. Aber bei der engen Verwandtschaft ihrer elektrischen Wirkungen mit denen der Muskeln und Nerven war es, um den Kreis der hiehergehörigen Vorstellungen zu schliefsen, unvermeidlich derselben Erwähnung zu thun. Von meinen neuerworbenen Standpunkten aus hatte ich einige, wie mir scheint, nicht unwichtige Betrachtungen über das elektromotorische Organ mitzutheilen. Endlich die schon im »*vorläufigen Abrifs u. s. w.*« gegebene Theorie des Schlages dieses Organs durfte ich nicht unterlassen, hier deutlicher zu entwickeln und sie mit den thatsächlichen Beweisen zu versehen, welche mir seitdem gelungen war, Versuchen an schematischen Vorrichtungen zu entnehmen.

Im IV. Abschnitt habe ich mir erlaubt, einige Vermuthungen auszusprechen über den Zusammenhang der elektrischen Erscheinungen an den Nerven und Muskeln mit den übrigen Phaenomenen ihrer Lebensthätigkeit.

Das Sternchen, welches sich bei Anführung der Literatur den meisten Citaten angehängt findet, bedeutet, dafs ich die betreffende Stelle selber habe nachsehen können. Die Werke, deren Format nicht angegeben ist, sind in Octav.

Wegen der grofsen Verwickelung der Untersuchung, des vielfachen Ineinandergreifens ihrer verschiedenen Theile, habe ich nicht umhin gekonnt, häufig auf weiter unten im Texte gelegene Stellen zu verweisen. Ich bedaure, darauf aufmerksam machen zu müssen, dafs mehrere dieser Angaben, wenn auch nur in Bezug auf die letzten Unterabtheilungen, im Verlaufe des Druckes irrig geworden sind.

Dies ist dadurch entstanden, dafs ich noch während desselben den gröfsten Theil der Versuche wiederholt, viele neue hinzugefügt habe und dadurch veranlafst worden bin, häufig die schon seit Jahren bereit liegende Handschrift von Grund aus umzuarbeiten. So haben sich auch an ein Paar Stellen des zweiten Bandes Abweichungen eingeschlichen zwischen den im Text angegebenen Figurenzahlen und den den Abbildungen selber beigefügten Nummern. Ich mufs den Leser bitten, vor dem Gebrauch diese und einige andere sinnstörende Fehler aus den Verzeichnissen am Schlusse des ersten und zweiten Bandes berichtigen zu wollen.

Der erste Band des Werkes ist schon seit geraumer Zeit vollendet. Der Druck desselben hat im Juni 1846 begonnen und ist beendet worden im Mai 1847. Der Druck des zweiten Bandes hatte inzwischen schon im Februar 1847 seinen Anfang genommen. Er ist jetzt beim 21. Bogen angelangt und schreitet seiner Vollendung entgegen.

Indem ich mich somit dem Ziele des Unternehmens nähere, dem ich seit nunmehr sieben Jahren meine ganze Thätigkeit gewidmet habe, wird vor allen eine Empfindung in mir laut, der ich nicht umhin kann, hier öffentlich Worte zu verleihen. Es ist die der Erkenntlichkeit gegen Den,

». . . . qui nobis haec otia fecit.«

Meinen Vater enthob in seiner Jugend eine leidenschaftliche Neigung für die Erforschung der Natur niederen Kreisen ländlichen Lebens, und trug ihn, trotz »Pfeil und Schleudern des Geschicks,« zwar spät, aber nicht entmuthigt, an die Schwelle einer wissenschaftlichen Laufbahn, die zu betreten ihm jedoch nicht beschieden war. Die Stürme einer vielbewegten Zeit, welche jetzt neu zu werden drohn, machten auch seine Pläne scheitern und drängten seine Thätigkeit in fremde Sphären. Aber je trüber er, am Abende seines Lebens, auf die Wechselfälle zurückblickt, die seinen eigenen Fortschritt gehemmt haben, um so reicher, hat er

gewollt, solle mir das Glück zu Theil werden, dessen Entbehrung er einst so schmerzlich empfand. Und so ist er nicht müde geworden, mich in den Stand zu setzen, diese ausgedehnten und kostspieligen Arbeiten ungestört zu vollenden, deren Bedeutung doch meine Kräfte viel zu wenig gewachsen waren, als dafs es nicht seiner vollen Langmuth bedurft hätte, um mir Zeit zu gönnen, meine Schwäche durch Ausdauer, mein geringes Geschick durch Uebung zu überwinden.

Berlin, im März 1848.

Der Verfasser.

# Einleitung.

## Von der physiologischen Elektricität überhaupt.

---

# Einleitung.

## Von der physiologischen Elektricität überhaupt.

---

### §. I.

### Begriffsbestimmung der physiologischen Elektricität.

Der Zweig der organischen Physik, welcher sich mit den elektrischen Erscheinungen der organischen Wesen beschäftigt, hat sich, die Lehre von den elektromotorischen Fischen ausgenommen, seit dem durch Volta herbeigeführten Sturze des von Galvani angelegten Baues der thierischen Elektricität bis auf die neueste Zeit, nicht nur keiner besonderen Pflege zu erfreuen gehabt, sondern es hat auch seitdem auf ihm der Druck vielleicht nicht unverdienter Vorurtheile gelastet. Nur zu oft waren in diesem Gebiete mit halbem Auge gesehene Trugbilder, von den dürftigsten Hypothesen begleitet, als umgestaltende Entdeckungen in die Welt hinausgesandt worden; hier schien der Aberglaube, schien die wissenschaftliche Mystik ihr Hauptlager um so mehr befestigen zu wollen, je lichter auf anderen Feldern der Physiologie der Tag der exacten Forschung heranzog.

Diesem Aberglauben sollte dasselbe unverdiente Glück, wie schon mehreren seiner Brüder, zu Theil werden. Fast ein Jahrhundert hindurch war er der Ausdruck einer Reihe mehr oder weniger schwächlicher Analogieen und daran sich knüpfender Vermuthungen gewesen, als sich dieselben, im Laufe des letzten Jahrzehends, plötzlich zu einer Sammlung von Thatsachen und Wahrheiten erhoben, deren Wichtigkeit unverkennbar, und deren um sich greifender Einfluſs nach mannigfaltigen Richtungen hin noch nicht abzusehen ist. Auf alle Fälle scheint es an der Zeit, das neue, der Wissenschaft gewonnene Gebiet einer grenzbestimmenden Musterung zu unterwerfen, und die urbarmachende

Hand ordnender Systematik darin walten zu lassen. Die erstere Aufgabe ist der wesentliche Gegenstand dieses Paragraphen.

Unter der »physiologischen Elektricität« ist nach dem Vorbilde der atmosphärischen Elektricität einerseits, der physiologischen Chemie andererseits, der Inbegriff aller derjenigen elektrischen Erscheinungen zu verstehen, welche an den organischen Wesen oder an Theilen derselben, so lange sie im Besitz ihrer Lebenseigenschaften sind, wie auch an gewissen Absonderungen im frischen Zustande, zwar, wenn es nöthig ist, mittelst passender Vorrichtungen, jedoch unabhängig von jeder weiteren experimentellen Zuthat, und im unmittelbaren Zusammenhang der Ursach und Wirkung mit den Vorgängen des Lebens wahrgenommen werden können.

Ausgeschlossen von dem Gebiete der physiologischen Elektricität vermöge dieser Begriffsbestimmung bleiben demnach elektrische Erscheinungen an organischen Wesen, so wie die, Bedingungen des Versuchs aufhören, dabei mehr als blofse Mittel zur Wahrnehmung abzugeben, und die Rolle der wesentlichen Ursachen ihres Hervortretens übernehmen. Die Funken, welche sich dem Pelzwerk der Thiere während des Lebens wie nach dem völligen Tode durch Reiben entlocken lassen, die Strömungen, die man durch Anlegen ungleichartiger Metalle an den thierischen Körper als feuchten Leiter hervorrufen kann, gehören folglich eben so wenig hieher, als die Wärme, die durch heftiges und anhaltendes Reiben der trockenen Handflächen aneinander entsteht, in das Gebiet der thierischen Wärme, oder der Widerschein von dem hellen Augengrunde gewisser Thiere im Halbdunkel, in das des thierischen Lichts.

Sollten sich hingegen elektrische Erscheinungen während des Lebens, unter den oben festgestellten, untadelhaften Bedingungen kundgeben, später jedoch den wirklichen Tod der Organe, an denen sie sich zeigen, überdauern, so würde denselben dadurch an ihrem Rechte, dem Gebiete der physiologischen Elektricität anzugehören, offenbar nichts verloren gehen; sie würden zwar von jenem Augenblick an einem anderen, hart an jenes gränzenden Gebiete der Wissenschaft anheimfallen, bis dahin jedoch unbedingt dem ersteren zuzusprechen sein. Dies dürfte z. B. der Fall sein mit den von Donné entdeckten elektrochemischen Strömungen im Innern des Körpers zwischen Absonderungsorganen von verschiedener chemischer Beschaffenheit, von denen unten noch mehrfach die Rede sein wird, wenn es sich ergeben sollte, was bis jetzt noch unentschieden ist, dafs, auch ohne Anlegung eines leitenden Bogens mit gleichartigen Enden, dergleichen Strömungen im Körper bereits wirklich vorhanden sind, dafs sie also in der That der

gegebenen Begriffsbestimmung physiologisch-elektrischer Erscheinungen Genüge leisten. Diese Strömungen dauern ununterbrochen in fast gleicher Stärke fort zwischen den längst ausgeschnittenen, ja faulenden Eingeweiden von saurer und alkalischer Beschaffenheit; unter diesen Umständen haben sie mit den Vorgängen des Lebens begreiflich nichts zu schaffen. Aber eben so gewifs ist es, dafs die Ursachen, denen sie jetzt ihren Ursprung verdanken, bereits im unverletzt einherwandelnden Organismus thätig waren, ja nur ein fortdauerndes Abgleichen von Gegensätzen sind, die noch während des Lebens entwickelt wurden. Diese Strömungen dürfen also, wenn sie, wie schon bemerkt, von der Gegenwart fremder Vorrichtungen überhaupt unabhängig sind, des fraglichen Umstandes halber der physiologischen Elektricität ebenso wenig entzogen werden, als das Bild auf der Nervenhaut der physiologischen Optik unter dem Vorwande, dafs auch die todten brechenden Mittel dasselbe zu entwerfen im Stande seien.

Jenes Grenzgebiet der physiologischen Elektricität, dem die oben angeführten Erscheinungen an Katzenbälgen u. s. w. ursprünglich angehören, und auf welches Donné's Ströme im Augenblick des Todes der Eingeweide, welche ihre Träger sind, hinüberrücken, kann als das der organischen Elektricität im engeren Sinne bezeichnet werden. So grenzen sich in neuerer Zeit die physiologische Chemie als Chemie der im lebenden Körper wirklich stattfindenden Vorgänge, und die Chemie der organischen Producte, als organische Chemie im engeren Sinne, immer deutlicher von einander ab.

Als eben so gleichgültig mufs es in Bezug auf die Begriffsbestimmung der physiologischen Elektricität hervorgehoben werden, ob eine Erscheinung, welche einen Platz in derselben beansprucht, sich auf eine auch in der anorganischen Natur bekannte Elektricitätsquelle zurückführen läfst, wie z. B. die Donné'schen Strömungen auf Becquerel's Säure-Alkalikette, oder ob der Grund einer solchen Erscheinung uns noch unbekannt ist, ob es daher denjenigen, welche an der verwirrten Vorstellung von Lebenskräften haften geblieben sind, noch füglich frei steht, sie diesen unterzuordnen. Ich mache diese Bemerkung, die sich von selbst zu verstehen scheint, nur deshalb, weil ich Physiologen zu kennen meine, in deren Augen ein thierisch-elektrischer Vorgang alle Beachtung verwirkt hat, sobald sie die Möglichkeit einer physikalischen Ableitung desselben vor sich zu sehen glauben. Als ob, weil die Gesetze der Hydro- und Aërodynamik zur Erklärung ihrer Wirkungsweise ausreichen, Herz und Lungen in der thierischen Maschine minder wichtigen Verrichtungen vorständen! Dies wird folglich nicht der Schlufs sein, den wir ziehen werden, wenn es im Laufe dieser Untersuchungen

sich ergeben sollte, dafs in Nerv und Muskel fortwährend ein elektrischer Strom kreist, dessen Richtung und Gröfse so beschaffen sind, dafs er zur Ableitung der Muskelzusammenziehung und der einfacheren Nervenwirkungen wohl benutzt werden könnte, dessen Ursprung aber vielleicht blos derselben Art ist, wie der des Stromes einer Säure-Alkalikette, deren Elektroden in gleichartige Flüssigkeiten tauchen. Vielmehr würden wir uns alsdann zu freuen haben, in diesem Umstande auf ein neues Beispiel jener Einfachheit der Mittel und jenes zweckmäfsigen Ineinandergreifens der mannigfaltigen Lebensbedingungen gestofsen zu sein, welche wir auch sonst an so vielen Orten in den thierischen Organismen entfaltet sehen.

Besondere Erwähnung verdient noch der Ausschlufs einer Reihe wichtiger Erscheinungen aus dem Gebiete der physiologischen Elektricität, dem sie, vermöge einer althergebrachten Verwirrung, bis jetzt fast immer zuertheilt worden sind. Ich meine das unzählbare Heer der elektrischen Versuche aller Art an Thieren und Pflanzen, nebst Untersuchungen über das Verhalten organischer Substanzen bei der Elektrolyse u. s. w. Es bedarf nur der Erinnerung, um einzusehen, über wie verschiedene Fragen beide Klassen von Erfahrungen in den meisten Fällen Aufschlufs zu geben bestimmt sind, und ein wie lockeres Bindemittel für dieselben der einzige Umstand gewährt, dafs hier Elektricität entwickelt, dort künstlich hinzugetragene unter anderen Prüfungsmitteln angewandt wird. Wem würde es beikommen, unter der Aufschrift »von der thierischen Wärme« der Zuckungen zu gedenken, die das Brennen eines Nerven erregt, unter der »von dem Leuchten der Pflanzen« den Einflufs abzuhandeln, den das Licht auf Stellung und Farbe der Pflanzentheile übt? Nur da schneiden sich die Grenzen dieser Gebiete, wo, wie dies im Laufe dieser Untersuchungen mehrmals der Fall sein wird, die Anwendung der Elektricität an den thierischen Körpern Veränderungen hervorruft, welche selbst wieder elektrische Erscheinungen zur Folge haben. Gewissermafsen zu spät kommen diese sichtenden Bemerkungen übrigens in Betreff der Reizversuche an Muskeln und Nerven, welche die überwiegende Mehrzahl jener Erfahrungen ausmachen. Durch die nachfolgenden Untersuchungen wird es unter andern der Gewifsheit nahe gebracht werden, dafs das, was die Nerven befähigt, ein stromprüfendes Mittel zum Theil von unübertroffener Empfindlichkeit abzugeben, gerade der bereits erwähnte fortdauernde elektrische Vorgang in ihnen selbst ist. Diese Versuche werden somit nach wie vor, von jetzt an aber erst mit hinlänglicher Berechtigung, einen Platz in der physiologischen Elektricität einnehmen.

## §. II.

## Uebersicht des Thatbestandes der physiologischen Elektricität.

Es bleibt uns auch nach diesen Einschränkungen noch immer eine so beträchtliche Anzahl von Angaben übrig, dafs es nothwendig erscheint, dieselben zum Behuf des Ueberblicks in mehrere Gruppen zu vertheilen. Die Eintheilungsgründe, die uns dabei zu Gebote stehen, sind theils physiologische, nach den Organen und den organischen Wesen selbst nämlich, an denen die Erscheinungen wahrgenommen worden sein sollen, theils physikalische, nach der Art der angeblich beobachteten elektrischen Wirkungen. Dafs es, bei Mittheilung einer solchen Uebersicht, meine Meinung nicht sein kann, für die Richtigkeit aller darin aufgenommenen Behauptungen irgendwie einstehen zu wollen, bedarf wohl nicht erst der Erwähnung. Ja es haben solche Angaben Platz finden müssen, von denen es zweifelhaft ist, entweder, ob sie überhaupt in der Wirklichkeit begründet sind, oder wenigstens, in wie fern sie dem Gebiet der physiologischen Elektricität, nach der obigen Begriffsbestimmung, angehören. Nur von den Klassen von Erscheinungen, die im Laufe meiner eigenen Untersuchungen nicht ferner Berücksichtigung finden werden, ist im Folgenden die wesentliche Literatur aufgeführt worden.

Wir unterscheiden demnach zuerst:

### A. Physiologisch-elektrische Erscheinungen an Pflanzen.

#### I. Statisch-elektrische Erscheinungen.

1. Das blitzähnliche Aufleuchten gewisser lebhaft gefärbter Blüthen in der Dämmerung, welches Linné's Tochter entdeckte,[1] ist von Mehreren[2] für eine elektrische Erscheinung erklärt worden, und sogar Volta hat dieser Meinung bedingungsweise beigepflichtet,[3] indem er

[1] Der Schwedischen Akademie Abhandlungen XXIV. Bd. auf das Jahr 1762, übersetzt von Kästner. S. 291.*

[2] S. Wilke, ebendas. S. 293.* — Haggren, in Bd. IX der Neuen Schwedischen Abhandlungen auf das Jahr 1788. S. 59.* — Bertholon, de l'Électricité des végétaux. Paris 1788. p. 334.* — Pulteney, historical and biographical Sketches of the progress of Botany in England etc. London 1790. vol. I. p. 346.*

[3] Collezione dell' Opere del Caval. Conte Alessandro Volta ec. Firenze 1816. t. I. p. II. Meteorologia elettrica. Addizione alla Lettera settima. p. 257 (b).*

sich vorstellt, dafs das Verstreuen des Blüthenstaubes, welches, nach Haggren, das Blitzen begleiten würde, bei der möglicherweise idioelektrischen Natur desselben zu Lichtentwickelung Anlafs gebe. Diese Deutung ist indefs unnöthig; mit Recht hat Goethe seitdem die Erscheinung von dem plötzlichen Hervortreten von Blendungsbildern in der geforderten Farbe bei leisen Schwankungen des Augapfels hergeleitet.[1] Meyen und Schleiden irren sich wohl, wenigstens in Bezug auf die Wahrnehmungen der eben angeführten Beobachter, wenn der Erstere einen Zusammenhang der Lichtentwickelung mit den chemischen Vorgängen des Pflanzenlebens sucht,[2] der Letztere jeden Erklärungsversuch hier noch für unmöglich hält.[3] Dies geht mit vollständiger Gewifsheit daraus hervor, dafs Fräulein v. Linné, Wilke, Haggren und Goethe das Blitzen nur im indirecten Sehen, nicht beim Fixiren wahrnehmen konnten, was gerade eine besondere Erscheinungsweise der Blendungsbilder ist. Eben des Fixirens bei der angestrengten Beobachtung halber gelang es deshalb mehreren Forschern, z. B. Ingenhousz,[4] und lange Zeit hindurch auch Goethe selbst nicht, das Leuchten zu gewahren.

2. Pouillet hat 1825 nachgewiesen, dafs beim Verbrennen von Kohle, diese negativ elektrisirt zurückbleibt, während der aufsteigende Kohlensäurestrom positive Elektricität zeigt. Sodann hat er denselben Grundsatz auf die bei dem Wachsthum der Pflanzen stattfindende Kohlensäurebildung ausgedehnt, indem er darthat, dafs bei der Keimung von allerlei Samen in mit Erde gefüllten Glasgefäfsen, deren Rand mit Schellack gefirnifst ist, diese sich mit negativer Elektricität laden, die sich am Condensator wahrnehmen läfst, so dafs man schliefsen kann, dafs positiv elektrisirte Kohlensäure auf und davon gegangen ist, welcher auch Pouillet einen beträchtlichen Antheil an der Gewitterbildung zuschreibt.[5] Es waltet indefs hier noch eine grofse Schwierigkeit ob, da die Pflanzen bekanntlich, dem Sonnenlichte ausgesetzt, nicht mehr Kohlensäure, sondern umgekehrt Sauerstoff aushauchen, der, wenn er die Folge der Zersetzung von Kohlensäure ist, doch aller Wahrscheinlichkeit nach negativ geladen fortgeht und die Pflanze positiv elektrisirt zurückläfst. Wenn Pouillet in seinen Versuchen hierauf

[1] Zur Farbenlehre. Tübingen 1810. Bd. I. S. 21. §. 54. — Vergl. L. Chr. Treviranus, Physiologie der Gewächse. Bd. II. Bonn 1838. S. 70. §. 374.

[2] Neues System der Pflanzen-Physiologie. Bd. II. Berlin 1838. S. 200 ff.

[3] Grundzüge der wissenschaftlichen Botanik u. s. w. 2. Auflage. Leipzig 1846. Bd. II. S. 540.

[4] Versuche mit Pflanzen, übersetzt von Scherer. Bd. II. Wien 1788. S. 273 ff.

[5] Annales de Chimie et de Physique. Août 1827. t. XXXV. p. 401.

keine Rücksicht zu nehmen brauchte, um gleichmäfsig stets negative Ladung der Gefäfse wahrzunehmen, so mufs man daher entweder schliefsen, dafs seine Pflänzchen der Bedingungen entbehrten, um abwechselnd Kohlensäure und Sauerstoff zu entwickeln, worüber keine klare Auskunft gegeben ist, oder dafs bei der Zersetzung der Kohlensäure nicht der umgekehrte elektrische Vorgang stattfindet wie bei ihrer Bildung. Für die erstere Meinung spricht, dafs schon Becquerel, der im Stande war, Erkundigungen bei Pouillet einzuziehen, bei Darlegung seiner Versuche ihm diesen selben Einwand macht. Alsdann dürften wenigstens die Folgerungen für die Elektricität der Atmosphäre einigermafsen einzuschränken sein. Becquerel bemerkt ferner, dafs Pouillet auch die durch Verdunstung des Wassers freiwerdende, nach den verschiedenen darin aufgelösten Stoffen verschiedene Elektricität aufser Acht gelassen habe. [1]

Matteucci berichtet, dafs er im Innern eines »englischen Wäldchens« aus Robinia Pseudacacia, Platanus occidentalis, Gleditschia triakanthos u. d. m. beziehlich keine oder negative Elektricität beobachtet habe, wenn auf freiem Felde positive Elektricität oder keine herrschte. Bei Sonnenschein würde dies mit Pouillet's Angaben und dem Gesetz der Umkehr stimmen; es fand aber bereits vor Sonnenaufgang statt. [2]

### II. Erscheinungen elektrischer Strömung. [3]

Es findet dafür grofsentheils dieselbe Ungewifsheit Statt, wie für die oben bereits erwähnten angeblichen Strömungen zwischen den Absonderungsorganen thierischer Körper; ob sie nämlich auch unabhängig von den Vorrichtungen vorhanden sind, die zu ihrer Wahrnehmung dienen, ob sie also überhaupt, zum wenigsten in dieser Form, als physiologisch-elektrische angesprochen werden dürfen.

1. Alexandre Donné hat bei Aepfeln, Birnen, Pfirsichen, Aprikosen und Pflaumen beim Anlegen gleichartiger metallischer Multiplicatorenden Ströme in der Richtung der Axe der Frucht entdeckt. Beim Anlegen an zwei Punkte des Aequators oder eines Parallelkreises

[1] Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme. t. IV. Paris 1836. p. 169. *

[2] Bibliothèque universelle de Genève. Ancienne Série. Sciences et Arts. 1835. t. LIX. p. 38. * — Ueber eine angeblich elektrische Erscheinung an einem Fungus (Sphaeria fraxinea Linn.) s. the Magazine of natural History and Journal of Zoology, Botany etc. Conducted by J. C. Loudon. vol. II. 1829. p. 171. * By Electricus.

[3] Allgemeine Betrachtungen darüber von Golding Bird in the Magazine of natural History etc. New Series, conducted by E. Charlesworth. vol. I. 1837. p. 240. 293. *

findet keine Strömung Statt. Die Richtung des Stroms ist bei den Aepfeln und Birnen von der Knospe zum Stiel in der Frucht, in den Steinfrüchten sei sie die entgegengesetzte. Die chemische Ungleichartigkeit, auf welche diese Strömungen deuten, entgeht der Analyse; indefs bestehen dieselben in der nämlichen Richtung fort zwischen den ausgepreſsten Saftmengen der beiden Hälften einer senkrecht auf die Axe durchschnittenen Pflaume, fehlen hingegen, wenn der Schnitt der Axe parallel geschah. [1]

Ich vermag, nach eigenen Versuchen, diese Angaben grofsentheils zu bestätigen.

2. Man erhält, nach Donné a. a. O., auch einen Strom durch Anlegen des einen Multiplicatorendes unterhalb der Rinde, des anderen an das Mark eines Zweiges.

3. James Blake giebt an, auf folgende Weise einen elektrischen Strom durch den Vegetationsproceſs in einem Blatte hervorgebracht zu haben. Das Blatt wurde unter Wasser getaucht, so daſs nur der Stiel hervorragte; in diesen wurde das eine Platinende des Multiplicators versenkt, während das andere die Oberfläche des Blatts unter Wasser berührte. Der Strom, der, übrigens vom Licht unabhängig, bei Tage stärker war als bei Nacht, ging im Multiplicatordraht vom Stiel zum Blatte. [2]

4. Derselbe erhielt einen Strom beim Gähren von Bierwürze, indem er eine Platinplatte auf dem Boden des Gefäſses in Berührung mit der hier befindlichen Schicht Gährungspilze, eine andere an der Oberfläche der Flüssigkeit anbrachte und beide durch den Multiplicator verband. Der Strom ging in der Flüssigkeit aufwärts, nahm anfänglich an Stärke zu, späterhin wieder ab, und kehrte sich endlich um, als die Hefe vom Boden des Gefäſses nach der Oberfläche der Flüssigkeit aufstieg. Nach Beendigung der Gährung verschwand er völlig. [3]

## B. Physiologisch-elektrische Erscheinungen an Thieren.

### I. Statisch-elektrische Erscheinungen.

1. Am ganzen lebenden Thier. Dies ist das Gebiet, auf welchem sich vor der Entdeckung des Galvanismus, als noch keine andere Erscheinungsweise der Elektricität bekannt war, der Natur der

[1] Annales des Sciences naturelles. 2. Série. t. I. 1834. Zoologie. p. 125. * — Annales de Chimie et de Physique. t. LVII. p. 398. *

[2] The Philosophical Magazine. New Series. 1838. vol. XII. p. 540. 541. *

[3] Ibid., p. 539. 540. *

Sache nach allein die Wünsche und Hoffnungen, die Täuschungen und Enttäuschungen, kaum darf hinzugefügt werden, die Beobachtungen und Erfahrungen derer ergehen konnten, die sich mit der Begründung der thierischen Elektricität befafsten. Es würde eine nutzlose, und bei der Ausdehnung der hieher gehörigen, schon längst weit entrückten Literatur, neben ihrer Mühseligkeit auch fast unmögliche Arbeit sein, alle die Zeugnisse der älteren Schriftsteller über angeblich an thierischen und menschlichen Körpern vorgekommene Fälle von Entwickelung freier Spannungselektricität zusammenzustellen. Es sind meistens, wenn nicht in ihrer Wirklichkeit oder wenigstens ihrem Zusammenhange mit der Elektricität durchaus zu bezweifelnde Angaben, Erscheinungen entweder von atmosphärischer Elektricität, dem St. Elmsfeuer der Schiffer vergleichbar, oder es beruhen dieselben unstreitig, oft sogar zugestandenermafsen, auf Reibung idioëlektrischer Theile aneinander, z. B. der trockenen Haut an erwärmten Kleidungsstücken, des Pelzwerks der Thiere, der Vogelfedern mittelst der Hand, u. d. m. Thatsachen der Art finden sich an den unten angegebenen Stellen in hinreichender Menge gesammelt.[1] Als Beispiel von der damals mitunter herrschenden Begriffsverwirrung in Betreff der Beweisfähigkeit mancher Wahrnehmungen für das Dasein einer thierischen Elektricität, mag angeführt werden, dafs Comus die elektrische Natur des Nervenprincips erwiesen zu haben meinte, als es ihm gelungen war, eine

[1] Bertholon, de l'Électricité du corps humain dans l'état de santé et de maladie. Paris 1786. t. I. p. 117. Chap. VII. De l'Électricité spontanée du corps humain und Chap. VIII. De l'Électricité des divers animaux. * Bertholon's einst so berühmtes, jedoch mit Recht in Vergessenheit gerathenes Buch handelt nicht, wie man es dem Titel nach vermuthen sollte, von der physiologischen Elektricität des menschlichen Körpers nach unserer im vorigen Paragraphen dargelegten Begriffsbestimmung, sondern wesentlich von dem Einflufs der Elektricität auf denselben. Eben dies gilt von dem oben S. 7 Anm. 2 bereits angeführten Werke »de l'Électricité des végétaux«, in welchem auch eigentlich nur von dem Einflufs der Elektricität auf die Pflanzen die Rede ist. — J. Jac. Hemmer, Untersuchungen über die thierische Elektricität, vorzüglich über die freiwillige. 1790. Gren's Journal der Physik. 1791. Bd. III. S. 267. * — Volta, Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. p. 19. * (1792). — Aloysii Galvani etc., de viribus Electricitatis in motu musculari Commentarius cum Joannis Aldini Dissertatione et Notis. Mutinae 1792. 4°. Joannis Aldini de animalis electricae theoriae ortu atque incrementis Dissertatio. * — Catalogus Bibliothecae historico-naturalis Josephi Banks etc. Auctore Jona Dryander. t. II. Londini 1796. p. 436. * — v. Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser, nebst Vermuthungen über den chemischen Procefs des Lebens in der Thier- und Pflanzenwelt. Posen und Berlin 1797. Bd. I. S. 426. * — Viele der hier angeführten Thatsachen, welche auf Wahrnehmung von Lichterscheinung an menschlichen und thierischen Körpern zurückkommen, sind aus Thomae Bartholini de luce hominum et brutorum libri III. Hafniae 1669. * geschöpft.

Elektrisirmaschine aus getrockneten Nerven zu verfertigen,[1] und dafs man ähnliche Folgerungen dem Umstande entnahm, dafs, gleichfalls nach Comus Versuchen, ein aus Eierschalen oder Knochen bereitetes phosphorsäurehaltiges Glas angeblich die elektrischste aller bekannten Glasarten sei.[2] Das sogenannte Blitzen der Augen erzürnter Menschen und Thiere, vollends das Leuchten gewisser Thieraugen im Halbdunkel und der Leuchtwürmer, die umherfliegenden Funken nach einem Schlag auf den Bulbus, Newton's Druckfigur, die problematischen Selbstverbrennungen,[3] genug keine noch so entfernt liegende Analogie wurde von den damaligen Urhebern thierisch-elektrischer Theorieen verschmäht, welche durch die Breite ihrer Beweisführungen auszugleichen suchten, was denselben an Tiefe abging.

Diesen Verirrungen gegenüber, in denen man die Unmethode des Alterthums und der mittleren Zeit bis in die Tage eines Coulomb und eines Lavoisier hereinragen sieht, sind einige angemessenere Bestrebungen zu unterscheiden, wider die sich, ihrer allgemeinen Anlage nach, nichts erinnern läfst. Man liefs Menschen, unter mannigfaltigen Umständen des Befindens und allerlei anderen Bedingungen, den Isolirstuhl besteigen, und prüfte mittelst elektroskopischer Vorrichtungen den elektrischen Zustand, in den sie alsdann, aus irgend welcher Ursache, gerathen mochten.

An der Spitze der Beobachter, welche diesen Weg einschlugen, steht de Saussure der Vater. Er entdeckte jedoch keine Regelmäfsigkeit in den Erscheinungen, da sich ihm bald positive, bald negative, bald gar keine Elektricität kundgab. Auch schreibt er die Entwickelung derselben einfach der Reibung der Kleidungsstücke zu, da Bewegung sie verstärkte, und hingegen am nackten, oder schwitzenden Körper, oder wenn frisch angezogene Kleider noch nicht auf dem Leibe warm geworden waren, die elektrischen Zeichen vermifst wurden. Die blofse Bewegung beim Athemholen hielt er für hinreichend, um Elektricität durch Reibung an den Kleidungsstücken zu entwickeln. Dabei bediente er sich abwechselnd eines einfachen Elektroskopes und des

[1] Rozier, Observations sur la Physique, sur l'Histoire naturelle etc. 1775. 4°. t. VI. p. 258. — Ibid., 1778. t. XI. p. 49 (16. Mai 1777).

[2] Ibid., 1780. t. XVI. p. 151. — Bertholon, de l'Électricité du corps humain. etc. t. I. p. 139.

[3] Bertholon, ibid., p. 128. 131. 158. 161. 164. — Noch 1811 erklärte Pallas das Leuchten der Augen vorzüglich des Katzengeschlechts dadurch, dafs hier durch das Fenster der Pupille in der Nervenhaut gleichsam ein Stück des lebenden Gehirns zu Tage komme, welches in elektrischem Feuer glühe. »Haec ignea acies »forte nudum electrum retinae nervosae.« Zoographia Rosso-Asiatica. Petropoli 1811. 4°. p. I. p. 14.

Volta'schen Condensators, je nach der Stärke der wahrzunehmenden Wirkungen.[1] Volta[2] und Tiberius Cavallo, welcher ähnliche Versuche, aber ohne Condensator, anstellte,[3] stimmen de Saussure bei.

Die entgegengesetzte Behauptung einer freiwilligen Elektrisirung des menschlichen Körpers vertheidigten damals ungefähr gleichzeitig und unabhängig von einander in Italien Gardini,[4] unter uns Hemmer.[5] Der Erstere zieht aus einer langen Reihe von Beobachtungen an sich selbst, seinen zahlreichen Schülern, vielen andern Menschen beiderlei Geschlechts und an Thieren, wobei er sich einer condensirenden Vorrichtung besonderer Art, seines »Microscopium electricum« bediente, den Schluſs, daſs, ohne alle Reibung, dem gesunden thierischen Körper ein leichter Grad positiver Elektrisirung zukomme. In dieser Elektricitätsentwickelung will sogar Gardini an sich selbst im Winter und Frühlinge, welche der Beobachtung derselben überhaupt am günstigsten seien, eine constante tägliche Periode erkannt haben. Schweiſs, Krankheit, Menstruation und Schwangerschaft bei Weibern, Castration bei männlichen Individuen (einem Hunde) sollen Verschwinden oder gar Umkehr der elektrischen Zeichen nach sich ziehen.

Hemmer fand gleichfalls in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle, die sich bei ihm in die Tausende belaufen, positive Elektricität; er giebt dieselbe daher, wie Gardini, für die ächte und natürliche des menschlichen Körpers aus, und läſst die entgegengesetzte stets von einem »statu violento« desselben herrühren. Kälte, Ermüdung und Schweiſs wirken hemmend auf die Elektricitätsentwickelung ein. Von der Reibung an Kleidungsstücken sei sie völlig unabhängig, da er Stunden lang nackend auf dem Isolirschemel sitzend lebhaft und dauernd elektrische Zeichen von sich gegeben habe. Gren äuſsert einen Verdacht gegen diese Ergebnisse auf Grund der vermeintlichen Unzuverlässigkeit des Volta'schen Condensators, dessen sich Hemmer bediente.[6]

[1] Brief an die Verfasser des Journal de Paris vom 26. März 1784. Uebersetzt ins Italiänische in Marsilio Landriani's dell' utilità dei conduttori elettrici Dissertazione. Milano 1784. p. 274. — Hieraus ins Deutsche in Mars. Landriani's Abhandlung vom Nutzen der Blitzableiter von G. Müller. Wien 1786. S. 238. — Nur unvollständig bei Bertholon, ibid., p. 132.

[2] Collezione dell' Opere ec. Ivi, p. 19. 20. (1792.)

[3] Vollständige Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der Elektricität nebst eigenen Versuchen. Aus dem Englischen übersetzt von Baumann. 4. Auflage. Leipzig 1797. Bd. II. S. 312.

[4] Dissertatio de electrici ignis natura Academiae etc. Mantuanae exhibita (anno 1788); edidit et praefatus est Joannes Mayer. Dresdae 1793. p. 89—102. 128 sq.

[5] Gren's Journal der Physik. 1791. Bd. III. S. 267.

[6] Ebendas., S. 284.

Ueber den handgreiflicheren Erscheinungen, welche die Entdeckung des Galvanismus kurz darauf den Liebhabern der thierischen Elektricität darbot, gerieth diese zarte und zweifelhafte Aeufserungsweise derselben einstweilen etwas in Vergessenheit. Erst 1800 wurde Sjöström wiederum durch Zufall auf Untersuchung derselben geführt.[1] Ich mufs bekennen, dafs seine Beobachtungsart mir nicht geeignet scheint, viel Vertrauen in das allen übrigen Zeugnissen entgegengesetzte Ergebnifs einzuflöfsen, zu dem er gelangte: dafs die in Rede stehende Elektricität negativer Art sei, und nur ausnahmsweise positive Ausschläge am Elektroskop erhalten würden.

Als die wichtigste Arbeit über diesen Gegenstand ist unstreitig die von Ahrens 1817 unter Pfaff's Leitung, also gewifs mit den besten Hülfsmitteln und allen Vorsichtsmafsregeln ausgeführte Untersuchung anzusehen.[2] Es heifst a. a. O.: »Die Versuche wurden gewöhnlich so »angestellt, dafs die Person, deren Elektricität untersucht werden sollte, »sich auf ein Isolatorium begab, und mit der Hand (bisweilen auch »mit irgend einem andern Theile des Körpers) die Collectorplatte eines »sehr guten und auf ein Goldblattelektrometer aufgeschraubten Con»densators berührte, während die obere Platte des Condensators mit »dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt wurde. Hatte die Be»rührung der Collectorplatte kürzere oder längere Zeit (was keinen »grofsen Unterschied zu machen schien, da die Ladung gewöhnlich »sehr schnell geschah) Statt gefunden, so wurde die Verbindung auf»gehoben, die obere Platte des Condensators entfernt, und nun zeig»ten die Goldblättchen durch ihre Divergenz den Grad der mitgetheilten »Elektricität, deren Qualität auf die gewöhnliche Weise durch Annä»herung einer geriebenen Siegellackstange oder einer Glasröhre erforscht »wurde. Die wichtigsten Resultate dieser mehrere Monate hindurch »fortgesetzten Versuche waren folgende: In der Regel ist die eigen»thümliche Elektricität des menschlichen Körpers im gesunden Zustande »positiv. — Selten übersteigt sie an Intensität die Elektricität, welche »das mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehende Kupfer mit »dem Zink hervorbringt. — Reizbare Menschen von sogenanntem san»guinischen Temperamente haben mehr freie Elektricität als träge, von »sogenanntem phlegmatischen Temperamente. — Des Abends ist die »Menge der Elektricität gröfser als zu den anderen Tageszeiten. —

[1] Kongl. Vetenskaps Academiens nya Handlingar. T. XXI. För År 1800. Sid. 63.* — Ausgezogen in Pfaff, Scherer und Rudolphi, Nordisches Archiv für Naturkunde, Arzneiwissenschaft und Chirurgie. Bd. III. St. 3. 1803. S. 20.*

[2] Pfaff, in J. F. Meckel's Deutschem Archiv für die Physiologie. Bd. III. 1817. S. 161.*

»Geistige Getränke und der dadurch vermehrte Kreislauf vermehren die »Menge der freien Elektricität. — Die Weiber sind öfter als die Männer negativ elektrisch, doch sind weder die Versuche von Herrn »Ahrens, noch von mir« — sagt Pfaff — »bisher genug vervielfältigt »worden, um den Gegensatz der Elektricität des weiblichen Geschlechts »gegen die des männlichen als Regel aufstellen zu können. . . . — Im »Winter sehr durchgekältete Körper zeigten erst keine Elektricität, die »aber allmählig zum Vorschein kam, so wie die Haut wieder warm »wurde. — Dafs diese eigenthümliche Elektricität des Körpers ganz »unabhängig von dem Reiben der Kleider an der Oberfläche sei, bewies der Umstand, dafs auch der ganz nackte Körper dieselbe Elektricität zeigt; auch war kein Unterschied zu bemerken, welcher Theil »des Körpers mit der Collectorplatte in Berührung kam. — Während »der Dauer rheumatischer Krankheiten scheint die eigenthümliche Elektricität des Körpers auf Null herabzusinken, und, sowie die Krankheit weicht, allmählig wieder zum Vorschein zu kommen.«

Nasse der Jüngere hat diese Versuche wiederholt, sich aber dabei, wie es scheint, nur des Elektroskops, ohne condensirende Vorrichtung bedient.[1] Er hat überall, bei Männern wie bei Weibern, an Kranken wie an Gesunden, ja an Leichen, und gleichviel, ob Isolation stattfand oder nicht, positive Elektricität gefunden und leitet dieselbe in seinen wie in Ahrens Versuchen von der Reibung ab, der die elektroskopischen Vorrichtungen bei ihrer Handhabung am Körper unterworfen sein mögen.

Dies ist, was von freiwilliger Elektricitätsentwickelung am menschlichen Körper noch am sichersten vorliegt. Eigene Versuche über diesen Gegenstand habe ich nicht angestellt. Ich enthalte mich daher billig jedes Urtheils über die Wirklichkeit oder nicht Wirklichkeit jener Entwickelung. Unbestreitbar scheint mir nach alle dem, bei so vielen übereinstimmenden Zeugnissen, nur dies Eine: dafs nämlich, bei der Untersuchung des menschlichen Körpers mittelst elektroskopischer Vorrichtungen, auf irgend welche Weise ein Quell von vornehmlich positiver Elektricität gegeben sein müsse. Ob dieser nun in den thierischen Geweben an und für sich, ihren gewöhnlichen chemischen und physikalischen Bedingungen, seinen Grund habe; oder ob er fliefse aus irgend welcher bei Wiederholung des Versuchs stets gleichmäfsig wieder-

[1] Sternberg, Experimenta quaedam ad cognoscendam vim electricam nervorum atque sanguinis facta. Bonnae 1834. 4°. p. 16.* — Auch Valentin hat ein Paar hieher gehörige Versuche mitgetheilt, die indefs nichts lehren. Artikel »Elektricität der Thiere« in Rud. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie mit Rücksicht auf physiologische Pathologie. Bd. I. Braunschweig 1842. S. 294.*

kehrenden Ursache; oder ob er endlich dennoch herrühre von der Reibung der Haut an den Kleidungsstücken: dies ist minder leicht zu entscheiden. Das letztere halte ich durch die Versuche am nackten Körper defshalb nicht für unwiderleglich zurückgewiesen, weil man einen Menschen nicht, gleich einem Krystall, durch die Flamme ziehen kann, um ihn von jeder anhaftenden Spur von Elektricität zu befreien, was bekanntlich seine grofsen Schwierigkeiten hat.

Dem sei übrigens wie ihm wolle, das Interesse der ganzen Frage scheint mir ziemlich gering und kaum der Mühe einer ferneren Untersuchung werth. Sie ist, wie bemerkt, zu einer Zeit aufgebracht worden, wo es noch keine andere Erscheinungsweise der Elektricität gab, als die der Spannung und plötzlichen Entladung; wer damals thierisch-elektrischen Phantasieen sich hingeben wollte, war mit seiner Einbildungskraft in diesen engen Kreis gebannt. Als aber im Galvanismus neue, und zur Erklärung der Muskel- und Nervenwirkungen geeignetere Bewegungsformen der Elektricität bekannt wurden, verliefsen diejenigen, welche dem Gange der Wissenschaft einigermafsen folgten, jene veraltete Analogie und griffen zu den hier dargebotenen Deutungen, wohl wissend, dafs der isolirte menschliche Körper immerhin freiwillig zolllange Funken ertheilen und Kleist'sche Flaschen zu laden vermögend sein könnte, ohne dafs dies den geringsten ferneren physiologischen Schlufs gestatten würde. Dies ist nicht die Gestalt der Elektricität, unter der sie, in ruhender Spannung angehäuft entweder, oder auf breiten Wegen gemächlich durch die Beine in die Erde abgeleitet, irgend erhebliche, am wenigsten aber irgend zweckdienliche, nämlich örtliche Wirkungen hervorzubringen vermöchte.

Nur die Aerzte verharrten trotz dem, und trotz der Unsicherheit des Thatbestandes selber, bei dieser Vorstellungsweise, denen die einfachen Bilder von positiver und negativer Elektricität, von Abstofsung, Anziehung, Spannung, Entladung u. s. w. einmal eingeprägt waren und nicht so leicht durch die minder fafslichen und, die beliebte Polarität ausgenommen, minder leicht allgemeinen Anwendungen sich fügenden Elementarbegriffe des Galvanismus verdrängt werden konnten. Siehe hierüber Hermann Lotze, dessen Ansicht ich völlig theile, wenn er sagt: [1] »So wenig als den Einfluſs des Lichts kennen wir den der »Elektricität, deren noch in vieler Verwirrung begriffene Theorie eine »magische Anziehungskraft für ebenso verworrene Aerzte gehabt hat, »die einzige Wirkung der Elektricität, die erwiesen ist.« Man hat die

[1] Allgemeine Pathologie und Therapie als mechanische Naturwissenschaften. Leipzig 1842. S. 435. 461. 493.

an Irrsinn gränzende Behauptung aufgestellt, beim Rheumatismus werde die Haut isolirend, unterhalb ihrer häufe sich daher die Elektricität an, und ihre Spannung verursache, ein Gewitter im Kleinen, das Ungemach des Kranken! SCHARLAU hat dieselbe bekämpft.[1] HEIDENREICH versichert dagegen, in allen Krankheiten mit saurer Beschaffenheit der an der Körperoberfläche als Schweifs, Bläschen- oder Pustelinhalt u. d. m. ergossenen Flüssigkeiten sei die Hautelektricität positiv, in allen solchen mit basischer Reaction derselben negativ elektrisch.[2] Damit man aber nicht etwa denke, dafs diese Träumereien ein Vorzug der Deutschen ärztlichen Schulen allein seien, schlage man ferner an den beiden angegebenen Stellen nach.[3]

Versagen wir schon der doch in Nichts besonders unwahrscheinlichen Aussage einer leichten freiwilligen Elektrisirung des menschlichen Körpers bis auf Weiteres unseren unbedingten Glauben, so sind wir vollends berechtigt, jenen Erzählungen gegenüber uns zunächst durchaus skeptisch zu verhalten, denen zufolge Menschen und Thiere ohne weitere Veranlassung elektrische Funken gesprüht und Schläge trotz denen einer Batterie ertheilt haben sollen.

Ein Arzt aus der Umgegend von Lüttich hat GAUB den ältesten Fall der Art schriftlich mitgetheilt. Auf GAUB's Aufforderung, denselben näher zu untersuchen, erfolgte keine Antwort, und GAUB äufserte daher nachmals in seinen Vorlesungen die Vermuthung, dafs der Arzt sich getäuscht gefunden habe.[4]

Von einem Frauenzimmer in der Schweiz erzählt um diese Zeit BRYDONE, dafs sie »ohne die Vermittlung einer elektrischen Substanz »elektrisch geworden sei, und sogar mit einem unangenehmen Gefühle

[1] CASPER, ROMBERG und v. STOSCH, Wochenschrift für die gesammte Heilkunde. Jahrgang 1840. 27. Juni. No. 26. S. 416.*

[2] HUFELAND's und OSANN's Journal der prakt. Heilkunde. 1833. Bd. LXXVII. 3. St. S. 96. * — FRORIEP, Neue Notizen aus dem Gebiete der Natur- und Heilkunde. 4°. Mai 1839. No. 212. (Bd. X. No. 14.) S. 222.* — Ebendas., September 1839. No. 240. (Bd. XI. No. 20.) S. 313.* Zur Physik der Pathologie. Elektro-»chemisches Verhalten des Rheumatismus.

[3] S. BLUMRÖDER, Beurtheilung von »Apperçu d'une nouvelle doctrine médicale, »d'après les phénomènes chimiques et physiques de la vie, par le Dr. WANNER, de »By. Paris 1837.« In L. CHR. SCHMIDT's Jahrbüchern der in- und ausländischen gesammten Medicin. Jahrgang 1838. Bd. XX. S. 252.* — COUDRET, Recherches médico-physiologiques sur l'Électricité animale. Paris 1837.*

[4] Institutiones Pathologiae medicinalis Auctore H. D. GAUBIO. Editio altera. Leidae Batavorum 1763. p. 342. §. 660.* — Commentaria in Institutiones Pathologiae medicinalis etc. collecta digesta a FERD. DEJEAN. t. III. Viennae 1794. p. 314.*

»und mit der äufsersten Empfindlichkeit der Nerven Feuerfunken von »sich gegeben habe.« [1]

Jean-Domin. Cassini (IV.) sagt in einem Reisebericht aus Italien vom Jahre 1775: »Un Seigneur Russe, dont le nom et la réputation ont »été répandus dans l'Europe, et que je rencontrai à Florence, m'assura »que dans deux différentes années de sa vie, il avait été doué, si »j'ose m'exprimer ainsi, d'une vertu électrique, semblable à celle de la »Torpille. Quiconque le touchait en quelque partie du corps que ce »fût, éprouvait une commotion sensible.« [2]

Oseretskowski wurde von dreien glaubhaften und in Petersburg angesehenen, aus Sibirien gebürtigen Männern berichtet, dafs Michael Puschkin in Tobolsk, 45 Jahr alt, vom Jahr 1775 an die Eigenschaft besessen habe, Jedem, der ihn berührte, einen Funken nebst Erschütterung mitzutheilen. Nur im Winter jedoch gab sich diese Eigenthümlichkeit kund, und auch dann bedurfte es eines isolirenden Teppichs, auf dem er stand. Seine Frau sei durch den Umgang mit ihm gleichfalls elektrisch geworden (?), so dafs, wenn ihre Freundinnen beim Gruſs nach Landessitte Küsse mit ihr wechselten, sie häufig durch die im Augenblick der Berührung von ihren Lippen überspringenden Funken erschreckt wurden. Oseretskowski ist zweifelhaft, ob nicht dieser Fall einer und derselbe mit dem vorigen sei. [3] Er mufs alsdann entweder Cassini's Bericht nicht selbst vor Augen, oder ein geringes Vertrauen in die Einzelheiten des von ihm selbst mitgetheilten gehabt haben.

Von Cotugno's bekannter Maus wird später noch die Rede sein. [4] In eine Kategorie mit dieser Geschichte verdienen Nollet's, Tonso's, Vassalli-Eandi's [5] und Remer's [6] Erzählungen von Entladungsschlägen an Aalen, Ratten und Katzen gestellt zu werden. Die wahrscheinlichste Erklärung aller dieser Fabeln bleibt die von Joh. Müller angedeutete, dafs den Herren wohl im Grunde vor den Gegenständen ihrer Versuche gegraut habe. [7]

[1] Patrick Brydone's Reise durch Sicilien und Malta. Aus dem Englischen übersetzt. Leipzig 1774. Bd. I. S. 193. 194. — Brydone war nicht Augenzeuge, sondern die Geschichte wurde ihm von verschiedenen Schweizern berichtet. Sie fällt in die Jahre 1762—63.

[2] Mémoires de l'Académie Royale des Sciences. 4°. Année 1777. p. 578.

[3] Acta Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae. 4°. Pro Anno 1779. Pars prior. p. 233. Exemplum Electricitatis praeternaturalis.

[4] S. unten, 1. Abschn. Kap. I. §. 1.

[5] Volta, Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. p. 21. 22. — Gilbert's Annalen der Physik. 1803. Bd. XIII. S. 451. 457.

[6] Ebendas., 1804. Bd. XVII. S. 31.

[7] Handb. der Physiologie des Menschen. Bd. I. 3. Aufl. Coblenz 1838. S. 648.

In der neueren Zeit sind wiederum Fälle von »hommes-Torpilles«, wie Bertholon sie nennt,[1] gleich dem Cassini'schen und dem Puschkin's, vorgekommen, jedoch eben so wenig, wie jene, einer wissenschaftlichen Beglaubigung theilhaftig geworden.

Der bei weitem interessanteste darunter ist der der »elektrischen Dame« zu Orford (Grafton county, New Hampshire) in den Vereinigten Staaten.[2] Am 25. Januar 1837, als eben ein strahlendes Nordlicht am Himmel stand, bemerkte diese Dame, inmitten der zur Beobachtung desselben versammelten Gesellschaft, indem sie mit der Hand die Wange ihres Bruders streichelte, zu Beider nicht geringem Erstaunen, dafs elektrische Funken aus jeder Fingerspitze nach dem berührten Gesichte übersprangen. Die ganze, durchaus zu Zweifeln geneigte Gesellschaft überzeugte sich durch Gesicht und Gefühl von den Funken, und der etwas später hinzugekommene Berichterstatter, Dr. Willard Hosford, ein »achtungswerther« Arzt, erhielt, von den Knöcheln der Dame, einen $^3/_4$″ langen Funken an die Nase, über den er im Zurückprallen jeden Zweifel vergafs. Dies elektrische Vermögen hielt bis zu Ende Februars mit wachsender Stärke an, begann dann zu sinken und verschwand erst gegen Mitte Mai. Es blieb sich, während dieser Zeitdauer, nicht stets an Stärke gleich; indessen sei zu vermuthen, dafs vom 25. Januar bis zum 1. April die Dame zu jeder Zeit im Stande war, elektrische Funken abzugeben. Eine Temperatur von ungefähr 70 — 80° Fahrenheit, leichte Körperbewegung, Gemüthsruhe, gesellige Erheiterung beförderten das Hervortreten der Erscheinungen; unter diesen aber war der Einfluſs der Temperatur am deutlichsten, da noch ehe das Thermometer den Nullpunkt erreichte, die Elektricität völlig verschwunden war. Mit dem Nullpunkt ist hier jedoch, obschon nach Fahrenheit'schen Graden gerechnet wird, der Frostpunkt gemeint, was sich daraus ergeben dürfte, dafs in Mussey's Bericht 25° Fahr. (= — 3°.88 C.) als die ungefähre Gränze des elektrischen Vermögens sich angegeben findet. Barometer- und Hygrometerstand übten keinen merkbaren Einfluſs aus. Der Isolator, auf dem die Dame sich befand, war einfach der Türkische Teppich ihres Zimmers

[1] Ibid., p. 123.

[2] Silliman, the American Journal of Science and Arts. vol. XXXIII. January 1838. p. 394. Extraordinary case of electrical excitement. Eine im Wesentlichen mit der hier gegebenen übereinstimmende, jedoch minder vollständige Beschreibung des Falls findet sich auch in the American Journal of the medical Sciences. vol. XXI. No. XLII. February 1838. p. 377 von Dr. Mussey, Lehrer der Anatomie und Chirurgie am Dartmouth College. Dieser ist indefs nicht Augenzeuge gewesen. Im Obigen habe ich die Einzelheiten beider Berichte in einander verwoben.

und gestattete keine höhere Spannung, als die sich nachher in Funken von 1″.5 Länge entlud (!); wurde aber ein metallischer Leiter $^1/_{16}$″ von ihrem Finger gehalten, so ging alle Secunden ein hör-, sicht- und fühlbarer Funke über. Wenn sie, die Füfse in der Nähe des eisernen Ofens (»on the stove-hearth [of iron]«), mit Lesen beschäftigt, safs, und keine andere Bewegung vornahm, als dafs sie athmete und von Zeit zu Zeit das Blatt wendete, so schlugen in der Minute drei und mehr Funken nach dem Ofen über, trotz der Nichtleitung ihrer Schuhe und seidenen Strümpfe. Sie konnte isolirte Personen laden, ja so stark, dafs diese wiederum eine dritte zu laden vermochten, u. s. w. Unter den günstigsten Umständen gab sie in der Minute vier 1″.5 lange Funken einer bronzenen Kugel an dem Ofen ab, deren Knattern durch das ganze grofse Zimmer gehört wurde; dies geschah sogar, freilich auf Kosten des Glanzes der Funken, durch eine Kette von vier Personen hindurch. Das Haar der Dame sträubte sich nicht durch elektroskopische Abstofsung, unstreitig weil es zu fest gemacht war: »her hair having been laid smooth at her toilet and firmly fixed »before she appeared upon her insulator.« Sie ging gemeiniglich in Seide gekleidet; der Arzt liefs sie statt dessen Baumwolle und Wollenzeug anlegen, und ihre Schwester die seidenen von Jener abgelegten Stoffe tragen; weder aber wurde diese dadurch elektrisch, noch büfste die Erstere ihre aufserordentliche Fähigkeit ein. Ja, wie man sich erinnert, den obigen Erfahrungen über den gewöhnlichen Grad freiwilliger Elektrisirung an isolirten Menschen zuwider (s. oben S. 12. 13), sogar der Schweifs vermochte dieser Fähigkeit nichts anzuhaben.

Die Dame ist 30 Jahr alt, seit zehn Jahren mit dem Colonel B.[1] kinderlos verheirathet, von zarter Constitution, nervösem Temperament, sitzender Lebensart, meist mit Lesen oder weiblicher Handarbeit beschäftigt. Obschon fast immer kränklich, ist sie doch nie bettlägerig gewesen. Vor und gleichzeitig mit dem elektrischen Zustande litt sie an rheumatischen und neuralgischen Beschwerden. Während desselben befand sie sich aufserdem in einer »severe mental perturbation«, vorzüglich in Folge der unerträglichen Belästigung, die ihr durch die fortwährend von ihrem Körper nach jedem berührten Gegenstande, als Nadel, Scheere u. d. m. mit dem bekannten stechenden Gefühl überspringenden Funken verursacht wurde. Mit dem elektrischen Zustande schwanden auch ihre übrigen Leiden, so dafs sie sich hinterher besser

[1] »Col. B., the husband of this lady, was absent, at a remote part of the »country, at the time of the electrical development. On his return in April, she »met him at the door, and playfully presenting her finger to his face astonished »him with her newly acquired power.« Mussey's Bericht.*

als zuvor befand. Das Zusammentreffen des ersten Erscheinens der elektrischen Fähigkeit mit dem Nordlichte wird von Dr. Hosford selbst übrigens nur für zufällig, oder vielleicht in der Aufregung begründet gehalten, in welche ein reizbarer Zuschauer durch die Pracht und Erhabenheit des Anblicks leicht versetzt werden konnte.

Dieser Bericht ist nun allerdings höchst merkwürdig. Es scheinen hier nur zwei Fälle denkbar, entweder dafs das Ganze eine baare Erfindung ist, oder dafs es wirklich einen pathologisch-elektrischen Zustand der beschriebenen Art giebt. Silliman selbst scheint gar keinen Zweifel in die Richtigkeit der Thatsache zu setzen. Er spricht, als ob er Dr. Hosford persönlich kenne, ist im September 1837, also wenige Monate nach dem Ereignisse, in Orford gewesen und hat dort sowohl, als auch in der 18 engl. Meilen südlich davon gelegenen Hochschule Dartmouth (at Hannover) allgemeinen Glauben an dasselbe vorgefunden. Wenn es auf der einen Seite unbegreiflich ist, wie sich, im Laufe von 14 Wochen und so nahe bei einer wie auch immer beschaffenen wissenschaftlichen Anstalt, kein Mensch hat finden können, der auf den Gedanken kam, sei's, wie Silliman es in einer Anmerkung wünscht, die Dame sich in eine Kleist'sche Flasche entladen zu lassen, sei's, ihre Elektricität durch die Anziehungs- und Abstofsungserscheinungen, durch Jodkalium u. d. m. zu prüfen, so liegt doch gerade wieder in dieser so auffallenden Lücke eine Art von Bürgschaft für die wenn auch nur theilweise Wahrheit der Geschichte: da es wenig mehr Mühe und eben keinen Aufwand an transcendenten Kenntnissen erfordert haben würde, die elektrische Novelle auch noch mit diesen Umständen auszuschmücken.

Der beiden andern noch hieher gehörigen Erzählungen gedenke ich nur der Vollständigkeit halber. Zwei junge Mädchen in Smyrna, Despina, 20—22 Jahr alt, und Zabétula, 16 Jahr alt, früher scrophulös, sollen starke elektrische Zeichen von sich gegeben haben. Worin bestehen aber diese, beiläufig von mehreren Aerzten geprüften Zeichen? Darin, dafs, wenn die beiden Mädchen sich an einen Tisch setzen, ein Knarren und Knacken im Holz desselben hörbar wird, wie von einer Schuhsohle oder einer schwach geladenen Kleist'schen Flasche; dies verschwindet, wenn sich die Mädchen berühren, oder der Tisch durch Glas isolirt wird. »Das Merkwürdigste war eine voll»kommen deutliche Repulsivbewegung, welche Zabétula gegen den »Tisch ausübte. . . . Allein vergebens hat man bisher versucht, einen »elektrischen Funken aus den Körpern der beiden Mädchen zu ziehen.« [1]

[1] Froriep, Neue Notizen u. s. w. Juni 1839. No. 216. (Bd. X. No. 18.) S. 280. (Aus dem Journal de Smyrne vom 23. und 28. Mai 1839.)

Diese Syrischen Kinder scheint sich, der Art und Weise ihrer Kunststücke nach, die ganz neuerdings von der Pariser Akademie der Wissenschaften entlarvte Betrügerin Angélique Cottin zum Muster genommen zu haben.[1]

2. Elektricität des Bluts[2] und der Absonderungen. Das nämliche Mifsverständnifs, wodurch einige Forscher bewogen wurden, sich für die Entwickelung äufserst geringer Grade von Spannungselektricität am menschlichen Körper zu interessiren, führte andere sogar dazu, ähnliche Untersuchungen über die möglicherweise stattfindende elektrische Ladung des Blutes und der übrigen thierischen Säfte anzustellen. Ich wiederhole es, dafs dies ein Mifsverständnifs war; die Thatsache an und für sich, wenn sie im Stande ist, sich Beglaubigung zu verschaffen, hat zwar ihre nicht in Abrede zu stellende Berechtigung; aber das Blut könnte (wenn es nur isolirt wäre!) bis zum Funkengeben mit Elektricität geschwängert sein, so würden wir uns dadurch noch nicht um ein Haar breit in der Erklärung irgend eines physiologischen Vorgangs von der Stelle gerückt finden.

Vassalli-Eandi ist meines Wissens der Urheber dieses Theils der thierischen Elektricität. Er entdeckte, dafs der in ein metallenes isolirtes Gefäfs gelassene Urin negativ elektrisirt sei. Diese Behauptung ist nicht zu bezweifeln, da sie Volta ausführlich bestätigt, ja über den Grund der Erscheinung experimentirt hat. Er vermuthete, dafs diese Elektricität von der nämlichen Ursache herrühre, wie die von Tralles in der Umgebung von Wasserfällen erkannte. Diese Ansicht zeigte sich jedoch nicht stichhaltig; denn als er eine grofse Spritze mit warmem Urin anfüllte, und nun einen viel kräftigeren Strahl, als ihn die Zusammenziehung der Blase zu erzeugen vermag, in das Becken trieb, erhielt er niemals auch nur das geringste Zeichen von Elektricität.[3]

Man erlaube mir, die Zeitfolge hintansetzend, hier sogleich die zweite, gleichfalls aufser Zweifel stehende Thatsache über Elektricität der Absonderungen anzuknüpfen. John Murray fand, dafs die frisch

[1] Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences. 4°. t. XXII. p. 306 (16 Février 1846.) p. 377. (2 Mars) p. 415. (9 Mars.)

[2] Stephan Hales erklärte auf elektrischem Wege den Tanz der Blutzellen an dem Flimmersaume eines Stücks Kiemen von Mytilus. Er versuchte auch, ob frisch in ein dünnes Glasgefäfs gelassenes Schweineblut jenseits der Wand desselben eine Anziehung auf leichte Körper äufsern möchte, und auf dieselbe Weise prüfte er, ob Blut durch Schütteln elektrisch würde. Haemastatique ou la Statique des animaux: Expériences hydrauliques faites sur les animaux vivans. Traduit de l'Anglais par Mr. de Sauvages. Genève 1744. 4°. p. 80. 81.

[3] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. p. 22—24. (5. Mai 1792.)

gezogenen Spinnefäden negativ elektrisirt seien. Seine Versuche beziehen sich namentlich auf das Gespinnst der Aranea aëronautica, der Erzeugerin des »fliegenden Sommers«.[1] »Bringt man den Leitungs»draht nahe an den Faden, an welchem die Spinne hängt, besonders »an die Flöckchen oder wolligen Kügelchen, so wird der Faden bedeu»tend aus der perpendiculären Richtung abgezogen und der Draht übt »auf den horizontalen Faden eine Attraction aus. . . . Nähert man eine »Stange geriebenes Siegellack dem hängenden Faden, so wird er davon »augenscheinlich abgestofsen, folglich ist die Elektricität desselben ne»gativ. Hält man die geriebene Stange über das Thier, so steigt es »augenscheinlich herab, und wenn man es auf stark geriebenes Siegel»lack fallen läfst, so springt es mit bedeutender Kraft in die Höhe. »Am 8. Juli 1822, 4 Uhr Nachmittags, näherte ich zwei aëronautische »Spinnen, jede an einem besonderen Faden hängend, einander; es »erfolgte eine gegenseitige Abstofsung, und wenn eine momentan mit »der andern in Berührung gebracht wurde, so fiel sie augenblicklich »in der perpendiculären Richtung tiefer herab. Eine geriebene Glas»röhre schien den Faden und mit ihm die Spinne anzuziehen. Wenn »das Insect auf diese Weise positiv elektrisirt wurde, so stieg es mit »aufserordentlicher Schnelligkeit herab und spann dabei Fäden, die, »wie ich beim Aufwickeln derselben bemerkte, wenigstens 30 Fufs »lang waren.«

Fechner bestätigt diese Ergebnisse durchaus.[2] Ueber ihren erdenkbaren Nutzen in der Oekonomie der Spinnen urtheilt Murray folgendermafsen. Er stellt sich erstens vor, dafs, bei herrschender positiver Elektricität der oberen Luftschichten, die Fäden vermöge ihrer negativen Elektrisirung von selbst einen Zug nach oben erhalten und aufsteigen können. Zweitens bemerkt er, dafs die in der Luft gesponnenen Fäden sich nicht mit einander vereinigen, sich vielmehr stets von einander absondern, und er vermuthet, dafs dies die Folge der gleichnamigen Elektrisirung aller sein dürfte. Was den Ursprung dieser Elektricität betrifft, so sagt er nur: »Beim plötzlichen Aufziehen eines ganz fein

[1] In Froriep's Notizen u. s w., October 1827. No. 389. (Bd. XVIII. No. 15.) S. 225. — Aus Memoirs of the Wernerian natural History Society. Edinburgh. t. V. p. II. — Ferner in Experimental Researches in natural History. By John Murray. London 1826. 12mo. p. 107. — Eine andere Ansicht von J. Blackwall, s. in the Transactions of the Linnean Society of London. 4°. 1826. vol. XV. p. II. p. 449. — Diese Ansicht zurückgewiesen durch Murray in Loudon's Magazine of natural History etc. 1829. vol. I. p. 320. On the Aërial Spider.

[2] Biot's Lehrbuch der Experimental-Physik oder Erfahrungs-Naturlehre u. s. w., deutsch von Fechner. 2. Auflage. Bd. II. Leipzig 1829. S. 345.

»gesponnenen Glasfadens habe ich bemerkt, dafs er in der verticalen »Richtung blieb, und bei der Untersuchung fand ich ihn elektrisch.«

Wie dem auch sei, Vassalli-Eandi würde jetzt nicht ermangeln, diese Thatsache, im Verein mit der von Volta bestätigten Negativität des Harns, als einen Beweis seiner späteren Behauptung in Anspruch zu nehmen: die Absonderungen seien durchweg negativ elektrisirt, das Blut hingegen sei positiv elektrisch. In Krankheiten solle sich die Elektricität des Blutes verlieren. So gab er vor, dafs in seinen Händen das Goldblattelektroskop, dessen Erfindung er Bennet streitig macht, zum »Vitalitometer« werde.[1] Buniva in Turin folgte diesen Thorheiten.[2]

Den höchsten Gipfel erreichten sie jedoch in Bellingeri's weitläuftigen Untersuchungen, deren hier nur flüchtig gedacht werden kann. Dieser setzt sich nämlich gleichfalls vor, die Elektricität des Blutes in den Krankheiten zu erforschen. Anstatt jedoch hiezu, wie Vassalli es machte, und wie es zur Noth noch einen Sinn hat, das Blut in einem isolirten Gefäfse aufzufangen und am Elektroskop zu prüfen, wendet Bellingeri folgendes Verfahren an. Er bildet eine galvanische Kette aus einem Metall, dem Blute und einem Froschpräparat. Bekanntlich vermag man, an gewissen Eigenthümlichkeiten der Zuckungen, die Richtung zu erkennen, in der ein Nerv vom Strom durchkreist ist; wovon später noch die Rede sein wird.[3] Auf diese Weise beurtheilte Bellingeri, ob sich das Blut positiv oder negativ gegen das damit in Berührung befindliche Metall verhielt, indem er sich, statt desselben, ein Metall hindenkt. Dies Verhalten des Blutes konnte im besten Falle, nämlich bei vollkommener Gleichartigkeit der Enden des metallischen Bogens, und möglichst sich selbst gleich bleibender Beschaffenheit der den Nerven des Froschs anhaftenden thierischen Flüssigkeit, womit das andere Ende des Bogens in Berührung stand, nichts anderes zu bedeuten haben, als etwa eine etwas gröfsere oder geringere Alkalescenz des Blutes. Bellingeri aber sagt statt: sich positiv, oder negativ in der Spannungsreihe verhalten, mit gröfster Unbefangenheit beziehlich weniger oder mehr Elektricität haben; und er identificirt die Elektropositivität oder Negativität der Körper gänzlich mit dem zeitweisen

[1] Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences, Littérature et Beaux-Arts de Turin. 4°. t. V. 1790—1791. p. 80. 81. — Ibid., t. XIV. 1805. p. XLI. Gez. 16. December 1798; zusammen mit Rossi und Anselmi.

[2] Gilbert's Annalen u. s. w. 1803. Bd. XIII. S. 456. Vassalli-Eandi, über die thierische Elektricität, und die Möglichkeit, das Elektrometer als Vitalitometer zu brauchen. An den Prof. Buniva in Turin.

[3] S. unten, 2. Abschn., Kap. III. §. III.

Besitze freier Spannungselektricität, seine eigenen auf diese Weise geführten Untersuchungen aber unbedingt mit denen von Vassalli am Goldblattelektroskop angestellten. Dies geringe Mifsverständnifs macht es freilich erklärlich, wie bei Bellingeri von der Elektricität auch schon längst abgelassenen Bluts die Rede sein könne. Diese völlig werthlosen Untersuchungen, welche von demselben Forscher noch auf Harn und Galle ausgedehnt worden sind, haben sich, Dank unstreitig dem tief wurzelnden und, wie es scheint, durch keinen Mifsbrauch so leicht zu untergrabenden Interesse an der thierischen Elektricität, einer nichts weniger als verdienten Aufmerksamkeit zu erfreuen gehabt, und dies ist der Grund, weshalb ich es nicht für unnütz gehalten habe, hier eine kurze Schilderung derselben zu entwerfen.[1] Eine Menge anderer Phantasien über die elektrischen Verhältnisse des Bluts übergehe ich mit Stillschweigen. Man findet Auskunft über mehrere darunter an den angegebenen Stellen.[2]

### II. Erscheinungen elektrischer Strömung.

1. **Strömungen der elektromotorischen Fische.** Sie sind so bekannt, dafs es hier nur ihrer Anführung bedarf. Es wird ihnen übrigens, im Laufe der nachfolgenden Untersuchungen, eine Reihe von Betrachtungen gewidmet werden.[3] Ihre Wirkungsweise läfst sich, mit wenigen Worten, folgendermafsen beschreiben: »Besonders dazu bestimmte Organe erregen unter dem Einflufs des Nervensystems willkürlich Ströme von grofser Kraft, in bestimmter Richtung und von nur augenblicklicher Dauer.«

Auch mehreren Insecten und einigen anderen Wirbellosen findet man wohl ein elektromotorisches Vermögen zugeschrieben. Die Nachrichten darüber, deren Literatur ich unten mittheile,[4] sind jedoch

[1] Memorie della Realè Accademia delle Scienze di Torino. 4°. t. XXIV. p. 107.* Sull' Elettricità del sangue nelle malattie. (30. Marzo 1816.) — Ivi, p. 459.* Memoria sull' Elettricità dell' orina. (24. Gennajo 1819.) — Ivi, t. XXXI. p. 295.* In Electricitatem sanguinis, urinae et bilis animalium experimenta habita a C. Fr. Bellingeri. (8. Januarii 1826.) — Vergl. Sternberg a. a. O., p. 11 sqq.,* der schon grofsentheils die tiefe Verwirrung aufgedeckt hat, in der sich Jener befand.

[2] Joh. Müller, Handbuch der Physiologie u. s. w., Bd. I. 3. Auflage. S. 73. 139.* — H. Nasse, Artikel »Blut« in Rud. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Bd. I. S. 80.*

[3] S. unten, 3. Abschn., Kap. X.

[4] Die ältere Literatur siehe kritisch beleuchtet bei Rudolphi in seinem Grundrifs der Physiologie. Bd. I. Berlin 1821. S. 201. Anm. 8.* — Hinzuzufügen ist: C. H. Müller, in Elemente der Elektricität und Elektrochemie von G. J. Singer, aus dem Englischen übersetzt mit Anmerkungen. Breslau 1819. S. 387.* (Ein

sämmtlich ganz unzureichend. Man begreift beiläufig nicht, was Thiere mit isolirenden Hautbedeckungen und in einem eben so beschaffenen Mittel lebend mit dem elektromotorischen Vermögen anfangen sollten. Auch hier ist die wahrscheinlichste Deutung die bereits oben S. 18 mitgetheilte der angeblichen elektrischen Schläge von Aalen, Ratten und Katzen.

2. Sogenannte elektrochemische Strömungen zwischen sauer und alkalisch reagirenden Secretionsorganen. Es ist im Obigen schon mehrfach die Rede davon gewesen. Man erhält sie, nach Donné's Entdeckung, indem man das eine Platinende eines Multiplicators mit einer sauren Absonderungsfläche, z. B. dem Innern des Magens, das andere mit einer alkalischen in Berührung bringt, also z. B. es in die Leber versenkt. Es entsprechen dieselben, wie man sieht, und wie bereits erinnert wurde, in jedem Betracht, auch in dem der Zweideutigkeit ihres wirklichen Daseins im Körper ohne die Bedingungen des Versuchs, den gleichfalls von Donné aufgefundenen Strömungen in Früchten, Aepfeln, Pflaumen u. s. w. S. oben, S. 4. 5. 9. Wir werden unten [1] noch ausführlicher davon zu handeln haben, und dort soll auch die darauf bezügliche Literatur ihren Platz finden. Ebendaselbst will ich die elektrochemischen Strömungen zur Sprache bringen, welche sich, nach einer neueren Bemerkung Matteucci's, zwischen Blut und sonstigen, theils neutral, theils in dem einen oder dem andern Sinne reagirenden Flüssigkeiten erhalten lassen. Indessen schicke ich noch folgendes Geschichtliche vorauf, um den Leser sogleich auf den Standpunkt zu stellen, auf dem es uns nachmals wünschenswerth erscheinen wird, die Frage alsbald aufnehmen zu können.

Es haben nämlich einige ältere Forscher, auf Grund der Entdeckungen Humphry Davy's über die Wanderung und Ausscheidung der Zersetzungsstoffe an den Polen der voltaïschen Säule (1807), fast gleichzeitig und unabhängig von einander die Idee gefafst, dafs dieser Art wohl der Kunstgriff sein möchte, durch dessen Hülfe es der Natur

unbekannter Käfer.) — Davies, in an Introduction to Entomology or Elements of the natural History of Insects, by Kirby and Spence. London. 5. Edition. vol. I. 1828. p. 108.* (Ein Käfer, Reduvius serratus, in Westindien.) — Silliman, the American Journal etc. January 1829. vol. XV. p. 357.* (Leonice gigantea, eine fast 4' lange See-Annelide auf den Antillen.) — Lady de Grey, in einem Brief an Yarrell in the Transactions of the entomological Society of London. vol. III. 1841—1843. Journal of Proceedings. August 6th. 1838. p. VIII.* (Ein gemeiner Elateride.) — Blakeney, in einer Nachricht an Denselben, ebendas., Mai 6th. 1839. p. XXIII.* (Ein grofser Schmetterling aus Südamerika. Das Exemplar wurde durch Yarrell der Gesellschaft vorgezeigt.)

[1] S. unten, 1. Abschn., Kap. II. §. II. — 3. Abschn., Kap. I. §. VII.

gelingt, die Absonderungen im thierischen Körper, mit ihrer eigenthümlichen sauren oder alkalischen Beschaffenheit, an bestimmte Oertlichkeiten zu schaffen und zu binden. THOMAS YOUNG sprach diese Vorstellungsweise, wie wir durch WOLLASTON erfahren,[1] zuerst in einem mir nicht zugänglich gewordenen Programm »*Syllabus*« zu seinen medicinischen Vorlesungen öffentlich aus. Darauf folgt eine Arbeit von EVERARD HOME,[2] welche Versuche enthält, die BRANDE, der Entdecker der Gerinnung des Eiweifses am negativen Pole der Säule, auf HOME's Anregung und unter DAVY's Leitung zur Stütze jener Ansicht ausgeführt hatte. Da dieselben indefs nichts Geringeres bezweckten, als durch Elektrolyse des Bluts Zersetzungsstoffe herzustellen, welche den im lebenden Körper vorkommenden Absonderungen wirklich glichen, so kann man sich leicht denken, dafs sie von keinem sonderlichen Erfolge gekrönt ausgingen. Endlich auch WOLLASTON gab jener Vermuthung Raum, begnügte sich jedoch seinerseits mit einem einzigen Versuche, der nichts weiter lehrt, als dafs eine einfache Zinksilberkette mit einer sehr verdünnten Kochsalzlösung zum feuchten Leiter das Natron derselben bereits nach 2 — 3 Minuten in hinreichender Menge durch thierische Blase hindurchzutreiben vermag, um es durch Lackmuspapier nachweisen zu können.[3] »The general redundance of acid in urine« — fährt er nichtsdestoweniger fort — »though secreted from blood »that is known to be alkaline, appears to indicate in the kidneys a »state of positive electricity; and since the proportion of alkali in bile »seems to be greater than is contained in the blood of the same ani»mal, it is not improbable that the secreting vessels of the liver may »be comparatavely negative.« Der Frage nun, ob diese Voraussichten in den DONNÉ'schen Strömen ihre Verwirklichung gefunden haben, so dafs diese einer Anwendung in dem Sinne fähig s[illegible]n, den WOLLASTON, HOME, YOUNG sich dachten, nebst der Darlegung des hierüber zwischen MATTEUCCI und DONNÉ geführten Streites: diesen Punkten soll im Laufe der folgenden Untersuchungen, an den beiden angegebenen Stellen, so weit es angeht, ihre Erledigung werden.

[1] An der unten angeführten Stelle. — ALDINI hatte schon, in seiner Weise, ganz im Allgemeinen auf die Wunder hingezeigt, die die Elektricität im Organismus auch wohl in Betreff des Mechanismus der Absonderungen hervorzubringen vermöchte. Essai théorique et expérimental sur le Galvanisme. An XII (1804.) 4°. p. 153.

[2] Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 4°. For the year 1809. Part II. p. 385.

[3] The Philosophical Magazine etc. by ALEXANDER TILLOCH. January — June 1809. vol. XXXIII. p. 489.

3. Angeblich in Muskeln und Nerven kreisende Ströme. Wie sich, seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts, eine kaum zu übersehende Anzahl von Forschern jedes Fachs und jedes Ranges auf jede Weise vergeblich bemüht hat, in Muskeln und Nerven, sei's während ihres Ruhezustandes, sei's während der Innervation und Zusammenziehung, Spuren bewegter Elektricität zu entdecken, braucht nicht in Erinnerung gebracht zu werden. Da in diesem Werke diese Bestrebungen vielleicht ihren Zweck erreicht haben dürften, so ist den betreffenden Untersuchungen, an den unten [1] angegebenen Stellen, eine möglichst vollständige Literaturgeschichte voraufgeschickt worden. Sie wird folglich hier übergangen.

4. Man wird es mir nicht verargen, wenn ich mir erlaube, in dieser Uebersicht den Standpunkt der Erkenntnifs festzuhalten, auf dem ich das Gebiet der thierischen Elektricität fand, als ich, im Jahr 1841, anfing, mich mit demselben zu beschäftigen. Alsdann ist hier schliefslich nur noch des Froschstroms in derjenigen Gestalt zu gedenken, wie ich denselben aus Matteucci's Händen in seinem »*Essai sur les phénomènes électriques des animaux.*« Paris 1840. überkommen habe. Die, übrigens schon von Nobili entdeckte, Erscheinung, auf ihren einfachsten Ausdruck zurückgeführt, ist diese: »Die enthäuteten unteren Extremitäten des Froschs entwickeln der Axe der Gliedmafsen nach einen schwachen elektrischen Strom, der in denselben von den Füfsen nach dem Becken gerichtet ist.« Dies ist der Grundversuch, von dem ich meinen Ausgang genommen habe; und wir beginnen daher jetzt mit der Geschichte des Froschstroms, der ein eigener Abschnitt gewidmet sein mag.

[1] S. unten, 3. Abtheilung., Kap. IV. §. 1. — Kap. VI. §. 11.

## Erster Abschnitt.

# Geschichte.

# Erster Abschnitt.

# Geschichte des sogenannten Froschstroms.

## Erstes Capitel.

## Von der Entdeckung der physiologischen Wirkung des Froschstroms bis zu der seiner Wirkung am Multiplicator. 1794—1827.

### §. I.

### Anfänge des Galvanismus.

Die Anfänge der Kenntnifs des Froschstroms fallen mit denen des Galvanismus überhaupt zusammen. Diese sind schon so oft und zum Theil so schön beschrieben worden,[1] dafs wir uns füglich ohne weiteren Aufenthalt darüber hinwegbegeben könnten. Allein einestheils ist zu bemerken, dafs diese Geschichte bisher immer ganz einseitig vom Standpunkt des Voltaïsmus aus geschrieben wurde, wo die thierische Elektricität als ein wesenloser, für die Wissenschaft sogar höchst ver-

[1] Alibert, Éloge historique de Louis Galvani, in Mémoires de la Société médicale d'émulation. 4. Année. Paris. An IX (1801). p. I. * — P. Sue, aîné, Histoire du Galvanisme et analyse des différens ouvrages publiés sur cette découverte depuis son origine jusqu'à ce jour. Paris 1802. — Dieselbe frei bearbeitet von Reinhold. Leipzig 1803. * — Pfaff, Artikel »Galvanismus« in Gehler's physikalischem Wörterbuche. Neue Bearbeitung. Bd. IV. Leipzig 1828. 2. Abth. S. 554. * — Biot's Lehrbuch der Experimental-Physik u. s. w., deutsch von Fechner. 2. Auflage. Bd. III. 1829. S. 1. * — Arago, Éloge historique d'Alexandre Volta. Annales de Chimie et de Physique. 1833. t. LIV. p. 396. *

derblicher Traum Galvani's und der Bologneser Schule, im besten Falle als eine unwichtige Nebenerscheinung galt; anderntheils sind, in Betreff Galvani's eigener Arbeiten, in der neuesten Zeit Quellen eröffnet worden, die, meines Wissens, in Deutschland noch nicht benutzt wurden und manchen interessanten Aufschluſs über die Entwickelung seiner Entdeckung gewähren.

Giovanni Aldini nämlich, der Neffe Galvani's, welcher nach dessen Tode die Rolle eines Vorfechters der thierischen Elektricität übernahm, hat dem Institut von Bologna, dem Galvani angehörte, die Handschriften seines Oheims vermacht, deren Besitzer er viele Jahre hindurch gewesen war. Das Institut ernannte die Herren Francesco Mondini, Michele Medici und Silvestro Gherardi zu Berichterstattern über dieselben, welche sich, nach fast einjähriger Arbeit, ihres Auftrages in den Sitzungen vom 7. und 14. November 1839 entledigten. Das Institut verordnete nun die Herausgabe sämmtlicher gedruckter Werke Galvani's und derjenigen ungedruckten Schriften, welche sich zur Veröffentlichung eignen würden. Dieselben erschienen 1841 zu Bologna unter dem Titel: »*Opere edite ed inedite del Professore* Luigi Galvani *raccolte e pubblicate per cura dell' Accademia delle Scienze dell' Istituto di Bologna*«, in einem prachtvollen Quartbande mit Galvani's Bildnifs, italiänischem und lateinischem Autograph, und mancherlei sein Leben und Wirken betreffenden kleineren Mittheilungen ausgestattet. Vorauf findet sich der von Gherardi verfaſste Bericht »*Rapporto*« der oben erwähnten Commission abgedruckt; wie es scheint, hat man auch die ganze übrige Redaction dem ordnenden Fleifse dieses Gelehrten zu verdanken.

Unter den hier wiederveröffentlichten Arbeiten Galvani's ist besonders hervorzuheben die 1794 in Bologna anonym erschienene, in Italien bereits,[1] vollends also wohl in Deutschland äufserst seltene Abhandlung »*Dell' uso e dell' attività dell' Arco conduttore nelle contrazioni de' muscoli*«, nebst einem »*Supplemento al Trattato dell' uso ec.*«, welche als die wichtigsten Urkunden für die ältere Geschichte des Froschstroms zu betrachten sind. Beide Abhandlungen wurden damals bereits allgemein Galvani als Verfasser zugeschrieben; die Manuscripte dazu, theils ganz von seiner Hand, theils von derselben überarbeitet, sind jetzt unter seinen nachgelassenen Papieren entdeckt worden.[2]

[1] Rapporto. Notizie bibliografiche sulle Opere del Galvani. p. 72.*

[2] Rapporto, p. 47. §. 17.* — Vergl. übrigens Gherardi's Antwort auf Grimelli's Zweifel über Galvani's Ansprüche auf die beiden anonymen Werke, in des Ersteren »Discorso«. Opere edite ed inedite ec. Aggiunta alla Collezione delle Opere ec. p. 10.*

Am meisten interessiren uns hier zunächst die in GHERARDI's Bericht enthaltenen Notizen über die allem Anschein nach sehr allmälige Entstehung des Materials, welches sich in GALVANI's erster thierisch-elektrischer Schrift, seinem berühmten »*De viribus Electricitatis in motu musculari Commentarius*« verarbeitet findet. Dieser Commentar erschien 1791. 4°.[*] zu Bologna als Separatabdruck aus dem VII. und letzten Bande der »*Antichi Commentarj*« des Instituts von Bologna;[1] das Jahr darauf mit Zusätzen zu Modena (Mútinae 1792. 4°.[*]); ins Deutsche übertrug ihn JOH. MAYER unter dem Titel: »ALOYSI GALVANI *Abhandlung über die Kräfte der thierischen Elektricität auf die Bewegung der Muskeln* u. s. w.« Prag 1793.[*] Er besteht aus vier Theilen.

Der erste derselben beginnt mit der bekannten Erzählung: »Ranam »dissecui, atque praeparavi ut in figura,« — nämlich auf die seitdem so bekannt gewordene Art, wo die enthäuteten Schenkel nur noch durch ihre Nervenstämme mit einem Stück Wirbelsäule zusammenhängen, — »eamque in tabula, omnia mihi alia proponens, in qua »erat machina electrica, collocavi ab ejus conductore penitus sejunctam, »atque haud brevi intervallo dissitam; dum scalpelli cuspidem unus ex »iis, qui mihi operam dabant, cruralibus hujus ranae internis ner»vis . . . casu vel leviter admoveret, continuo omnes artuum musculi »ita contrahi visi sunt, ut in vehementiores incidisse tonicas convul»siones viderentur. Eorum vero alter, qui nobis electricitatem tentan»tibus praesto erat, animadvertere sibi visus est, rem contingere dum »ex conductore machinae scintilla extorqueretur. Rei novitatem ille »admiratus, de eadem statim me alia omnino molientem ac mecum »ipso cogitantem admonuit. Hic ego incredibili sum studio, et cupi»ditate incensus idem experiundi, et quod occultum in re esset in »lucem proferendi, etc.« Die Erklärung dieser Erscheinung ist nämlich, wie jetzt Jedermann weifs, dafs die von der Ladung des Conductors abhängige elektrische Vertheilung in dem Froschpräparat im Augenblick des Funkenziehens eine Veränderung erfuhr, welche sich als Zuckung desselben kund gab. Eine solche Vertheilung aber, und folglich Störung des Gleichgewichtes, konnte hier, bei der Entfernung des Froschs vom Conductor, in hinreichendem Mafse nur dann stattfinden, wenn der erstere mit dem Erdboden in leitender Verbindung stand; deshalb wurden die Zuckungen nur dann bemerkt, wenn er mit einem leitenden Körper, der Klinge des Scalpells, berührt wurde. In der That zeigte sich sogleich im Laufe der Versuche, dafs, wenn

[1] Rapporto, p. 4. 71.

das Messer nur an dem knöchernen Heft gehalten wurde, die Zuckungen ausblieben.[1]

Was Galvani bei dieser Erscheinung in Erstaunen setzte, war nicht sowohl der Umstand, dafs ein todter Frosch durch Elektricität zur Zusammenziehung gereizt werden könne, denn diese Thatsache war den Naturforschern längst geläufig,[2] als dafs, bei der beschriebenen Anordnung, scheinbar gar keine Verbindung zwischen der Maschine und dem Thiere stattfand, so dafs es ihm dunkel blieb, wie dieselbe zu dem Frosche gelangte. Dies Erstaunen, welches so fruchtbar für die Wissenschaft werden sollte, ist häufig, und zwar zuerst von Volta,[3] Galvani zum Vorwurf gemacht worden, aus dem Grunde, er habe die Theorie der elektrischen Atmosphärenwirkungen nicht gekannt, die sich doch bereits in Lord Mahon's 1779 zu London erschienenen »*Principles of Electricity*« genau erörtert und auf die jenem ersten Versuche Galvani's im Grofsen ganz entsprechende Erscheinung des Rückschlages bei Gewittern[4] angewandt finde.

[1] Vergleiche Biot's Wiederholung des Versuchs in rationeller Form. Lehrbuch der Experimental-Physik u. s. w. Deutsch von Fechner. 2. Auflage. Bd. II. 1829. S. 289.*

[2] S. Haller's Elementa Physiologiae. Lausannae 1766. 4°. t. IV. p. 379. 448. 458. 460. 553. 556.* — Zu der hier angeführten, reichhaltigen aber zum Theil bereits äufserst schwer zugänglichen Literatur wäre noch hinzuzufügen: Franciscus de Sauvages, Physiologiae mechanicae Elementa. Amstelodami 1755. p. 132. 133.* — Giambattista Beccaria, Lettere del Elettricismo. Bologna 1758. Fol. p. 129. — Dies letztere Citat ist Priestley, the History and present state of Electricity. 2. Edition. London 1769. p. 402* entlehnt; findet sich aber auch in Beccaria's späterem Werke »Elettricismo artificiale.« Torino 1772. 4°. p. 267.*, wo der betreffende Versuch wiederholt und weitergeführt wird. Sogar der Gebrauch des Froschs zu Untersuchungen der Art war nichts Neues mehr in Galvani's Erfahrung: s. Mémoires sur les parties sensibles et irritables du corps animal. Lausanne 1760. t. III. p. 143.* Eine Abhandlung von Caldani, enthaltend eine Menge von Froschzuckungen durch Elektricität, gelesen im Institut von Bologna selbst am 15. November 1756. Wer übrigens zuerst nach der Entdeckung des Schlags der Kleist'schen Flasche im Jahr 1745 Muskelzuckungen durch Elektricität objectiv wahrgenommen habe, ist mir nicht mit Bestimmtheit auszumitteln geglückt. Viel früher aber wufste man schon, dafs ein Zitterfisch, unter todten Fischen liegend, sie häufig zu gemeinsamer Bewegung anrege. Athanasii Kircheri magneticum Naturae regnum. Amstelodami 1667. 12°. p. 182.*

[3] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. p. 61.* (Memoria seconda sull' Elettricità animale. §. 14. 1792.) — Ivi, p. 123.* First Letter to Mr. Tiberius Cavallo, 13. Sept. 1792. §. 2. — Gren's Journal der Physik. Bd. VIII. S. 305.*

[4] Principles of Electricity etc. by Ch. Viscount Mahon. London 1779.* Der Titel ist sogar mit der Bemerkung versehen: »This Treatise comprehends an explanation of an electrical returning stroke, by which fatal effects may be produced, even at a great distance from the place where the lightning falls.« Vergl. p. 77. 78.

Dieser Vorwurf kann jedoch, nach dem, was jetzt über die Zeit bekannt geworden ist, wo GALVANI seine ersten Versuche anstellte, denselben nur noch in bedingterer Weise treffen. Denn während bisher stets die Meinung war, GALVANI habe seine Arbeiten höchstens etwa im Jahre 1789 begonnen, trägt die älteste der auf diese Untersuchungen bezüglichen Handschriften vielmehr das Datum vom 6. November 1780, und es ist darauf bemerkt: »Rane preparate alla solita maniera«, woraus hervorgeht, dafs dies keineswegs das erste Mal war, dafs GALVANI elektrische Versuche an Fröschen anstellte. Dieser Umstand verliert jedoch sehr an Interesse dadurch, dafs anzugeben versäumt worden, ob der Versuch vom 6. November jener erste im Commentar beschriebene ist, oder ein beliebiger späterer; so dafs man das Gewicht nicht zu würdigen weifs, was von GHERARDI und nach ihm von MATTEUCCI [1] darauf gelegt worden ist. Von hier ab, bis gegen Ende des Jahres 1781, scheint GALVANI unablässig mit den im ersten Abschnitt des Commentars niedergelegten Arbeiten beschäftigt gewesen zu sein; einzelne Versuche schreiben sich noch aus den beiden darauf folgenden Jahren her; der letzte ist vom 14. Februar 1783. [2] Hierdurch ist GALVANI gewifs hinlänglich entschuldigt, dafs ihm, bei jener Gelegenheit, MAHON's Erklärung des Rückschlages nicht sogleich einfiel; zu tadeln kann er nur bleiben, dafs er sie auch während der elf folgenden Jahre bis zur Bekanntmachung des Commentars nicht kennen gelernt und daher die Versuche des ersten und zweiten Abschnitts desselben ohne die bereits mögliche richtige Deutung der Oeffentlichkeit übergeben habe.

SILVESTRO GHERARDI sucht, in einer vierzehn enggedruckte Quart-

§. 208. p. 113. 114. §. 311. — Eine französische Uebersetzung erschien zu London 1781 unter dem Titel: »Principes de l'Électricité«. S. darin dieselben Paragraphennummern S. 71. 105. 106.*

[1] Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux. Paris 1844. p. 5.* — MATTEUCCI übersetzt GHERARDI's Satz: »Qui basti notare, che il primo esperimento segnato nel quinterno A..... porta la data delli 6. Novembre 1780,« ganz willkürlich: »On a trouvé également parmi les manuscrits de GALVANI, le cahier qui »contient ses premières expériences sur les contractions des grenouilles excitées par l'électricité qu'il appelle artificielle. Ce cahier porte la date du 6 Novembre 1780.« Dies wird Jedermann so verstehen, als ob das Heft in der That den ersten Versuch des Commentars unter dem Datum vom 6. November jenes Jahres enthielte; bei GHERARDI handelt es sich aber nur um das erste, d. h. älteste in dem Heft verzeichnete Experiment, gleichviel, welches es gewesen sei. MATTEUCCI's geschichtliche Darstellung S. 1—19 des angeführten Werkes wimmelt überhaupt von den allergröbsten Ungenauigkeiten, welche einen gänzlichen Mangel an dem, ihm als Italiäner hier doch so nahe liegenden Quellenstudium verrathen.

[2] Rapporto, p. 11. 12. §. 3.

seiten langen Anmerkung zum Commentar,[1] darzuthun, dafs Galvani mit der Lehre von der Vertheilung und dem Rückschlage ganz vertraut gewesen sei, und dafs er nur deshalb in seinem Commentar davon geschwiegen, weil ihm die Vorstellung der thierischen Elektricität vorschwebte und ihm daher diese Art der Betrachtung als unwesentlich und ungehörig erscheinen mufste. Seine völlige Bewanderung in jener Theorie soll unter andern aus einer ungedruckten lateinischen Abhandlung, vermuthlich vom Jahr 1783, erhellen, in der er den gemeinschaftlichen Ursprung des Leuchtens am Leitungsdrahte einer geladenen Flasche, der gemeinen Flamme und des Athmens der Thiere aus der Elektricität zu zeigen bemüht ist.[2] Schwerlich wird sich Gherardi's Meinung in diesem Punkte eines grofsen Anklangs zu erfreuen haben. Die Leidenschaftlichkeit, mit der er dieselbe verficht, scheint in einem, auch sonst mehrfach hervorblickenden, eben nicht sehr glücklichen Streben zu wurzeln, Galvani um jeden Preis als eine der bedeutendsten und hervorragendsten Persönlichkeiten geltend zu machen. Sogar auf Kosten Volta's soll dies geschehen: ein halbes Jahrhundert ist, wie es scheint, nicht hinreichend gewesen, die entflammte Nebenbuhlerschaft der beiden Schulen, Bologna und Pavia, zu besänftigen.[3] Matteucci hat sich beeilt, in diesen Ton mit einzustimmen, und vorzüglich darauf hingewiesen, dafs, während jetzt Volta's Deutung der Galvani'schen Entdeckungen, die Contactlehre, in ihren Grundvesten erschüttert und allgemein verlassen sei, Galvani's Vorstellungsweise vielmehr einen dauernden Sitz im Gebiete der Wissenschaft eingenommen habe.[4] Wie schief diese Behauptung, noch dazu in Matteucci's Munde, ausfällt, der den thierisch-elektrischen Strömen jede weitere Bedeutung in dem von Galvani gehegten Sinne abspricht, bedarf nicht der Erinnerung. Als ob die Säule entdeckt zu sein aufgehört haben könnte! Als ob wir sie durch thierische Elektricität erklärten, selbst wenn wir nicht mehr Volta's Ansicht huldigen sollten!

[1] Note al Rapporto, p. 74—88.*

[2] Rapporto, p. 23. §. 7.*

[3] Volta's Bildnifs vor der von Configliachi herausgegebenen Abhandlung: »L'Identità del fluido elettrico col così detto fluido galvanico vittoriosamente dimostrata ec.« Pavia 1814.* trägt die Inschrift: »Alexander Volta, in re electrica »princeps, vim Rajae Torpedinis meditatus, Naturae interpres et aemulus.« Gherardi schlägt in seinem Discorso, s. Anhang zur Sammlung von Galvani's Werken S. 42, vor, diese Inschrift folgendermafsen abzuändern: »Alexander Volta, in re electrica »princeps, potius commentarium Galvani quam Rajae Torpedinis vim medi»tatus, Naturae interpres et aemulus.« Gherardi bezeichnet übrigens selbst dies Amendement als unwürdig.

[4] Traité etc. p. 11.*

Niemand, der Galvani's Schriften gelesen hat, wird ohne Ehrfurcht von dem schlichten Bilde des Mannes scheiden, dessen rastlosem, wenngleich dunklem Streben und naïver Wifsbegier solche Früchte zu tragen beschieden war. Jeder wird ihn gern entschuldigen, dafs er den Weg eingeschlagen hat, den wir ihn alsbald werden gehen sehen. Der von ihm entdeckte Thatbestand war einer Gleichung mit zweien Unbekannten zu vergleichen, deren eine das jetzige, durch Volta geschaffene Gebiet des Galvanismus, die andere aber wirklich die thierische Elektricität war, welche nunmehr, nach einem halben Jahrhundert, ihr Recht fordernd abermals in die Schranken tritt. In der That, Galvani hat, wie den physiologischen Grundversuch des eigentlichen Galvanismus, so den der elektrischen Muskel- und Nervenphysik entdeckt: den ersten wie den letzten noch dazu gehüllt in ein Chaos von Bedingungen, wodurch die Erfolge in beiden Fällen als gleich wesentlich abhängig von den thierischen Theilen selbst dargestellt wurden. Anatom und Physiolog vom Fach, erfüllt von der damals geläufigen[1] Vorstellung einer thierischen Elektricität, die er sogar im anatomischen Theater seinen Zuhörern vortrug,[2] war es kein Wunder, wenn er das ihm dargebotene Räthsel vorzugsweise von dieser Seite anzugreifen suchte, an welche sich bereits ein reiches Gebiet des Verständnisses anzuknüpfen schien. Allein auch Volta schwärmte für denselben Gedanken; durch die vielen Enttäuschungen, die in dieser Beziehung bereits stattgefunden hatten, mifstrauisch gemacht, ging er, nach seinem eigenen Ausdruck, sowie er nur die neuen Wunder selbst mit Händen gegriffen hatte, vom Unglauben zum Fanatismus über. Dies verhinderte ihn jedoch nicht, die glänzenden Aussichten, die sich durch Galvani's Entdeckungen für die Muskel- und Nervenphysik eröffnet zu haben schienen, unbedenklich fahren zu lassen, als er, dem damaligen Thatbestande gegenüber, das Unhaltbare derselben entdeckt zu haben glaubte. Niemand, der mit unparteiischem Blick jene Geschichte und das Verdienst ihrer Häupter zu würdigen wünscht, wird es wagen, Galvani und Volta auf eine Stufe zu stellen und die riesenhafte Ueberlegenheit dieses Physikers über alle seine Mitarbeiter und Gegner, insbesondere über die Bologneser Schule, einen Augenblick zu verkennen. Nicht leicht möchte sich in einer Natur wieder dieser Reichthum an unvergleichlichen Forschergaben vereinigt finden, wie in Volta's:

[1] S. unten, 3. Abschn., Kap. IV. §. 1. — Kap. VI. §. 11.

[2] Commentarius, p. 109.* — Aloysii Galvani, de viribus etc. Commentarius cum Joann. Aldini Dissertatione et Notis. Mutinae 1792. 4°. p. XXIV.* — Rapporto, p. 19 (e). p. 44 (l).* — Note al Rapporto, p. 101 seqq.* (Alcuni passi estratti dalle Lezione pubbliche d'Anatomia del cel. Galvani.)

dieses, um mit Dove zu reden, »unbegreifliche Talent«, das Wesentliche vom Unwesentlichen in einer verwickelten Erscheinung zu befreien; diese Kühnheit der Erfindung, welche dem Versuch vorangeht, gebändigt durch die strengste und umsichtigste Methode; dieser unablässig rege Sinn des Beobachters, dem kein Umstand entschlüpft; endlich neben so viel Feinheit so viel Einfalt und Grofsartigkeit der Anschauung, neben solchem Denkerkopfe so die Hand des Mechanikers. Seltsam ist nur, dafs es eine Deutsche Stimme sein mufs, welche über die Alpen hinüber einen Italiänischen Gelehrten wegen Verunglimpfung der Gröfse Volta's zur Ordnung ruft.

Noch in einem anderen Punkte erhebt sich Gherardi aufs heftigste wider die Geschichtschreiber des Galvanismus, insbesondere wider Alibert. Dieser hat berichtet,[1] dafs die Frösche, an denen Galvani's erste Beobachtung angestellt wurde, eigentlich zur Brühe für dessen kranke Gattin, Lucia, Galeazzi's seines Lehrers Tochter, bestimmt waren. Dies stellt Gherardi deshalb in Abrede, weil es sich mit Bestimmtheit aus gewissen Documenten ergebe, dafs Galvani schon viel früher mit Versuchen an präparirten Fröschen beschäftigt gewesen sei. In der That haben sich unter seinen Papieren mehrere fliegende Blätter von augenscheinlich älterem Ansehen als alles Uebrige vorgefunden, auf deren einem überdies bemerkt ist: »a dì 4. 1778«, und welche allerlei physiologische Versuche an Fröschen, wenngleich allerdings keine elektrischen, enthalten.[2] Sodann ist ein altes Verzeichnifs der in den Sitzungen der Akademie von Bologna verlesenen Abhandlungen von der Hand des damaligen Schriftführers, Sebastiano Canterzani, vorhanden, aus welchem man ersieht, dafs Galvani am 22. April 1773 »*Sul moto muscolare nelle rane*«, und am 20. Januar 1774 über die »*Azione dell' oppio ne' nervi delle rane*« gelesen hat.

Die hier angeregte Frage, durch welchen Umstand sich, in jenem ersten Versuch, der Frosch bei der Elektrisirmaschine befand, ist gewifs äufserst gleichgültig, um so mehr, als Galvani selbst in seiner Erzählung wiederholt auf den Punkt besteht, dafs er ganz andere Dinge im Sinne gehabt habe, und dafs das Ereignifs das vollständige Werk des Zufalls gewesen sei. Soll diese Frage aber einmal aufgeworfen werden, so ist es deutlich, dafs die Beweisführung Gherardi's nicht als ausreichend betrachtet werden kann, um so weniger, als er selbst, in manchem andern Punkte, die Bologneser Stadtsage zur Bekräftigung von Behauptungen anruft.[3] Alibert und Sue erzählten, nach genauen

[1] Éloge historique etc. p. XXXVII. 1. Note.*

[2] Rapporto, p. 12. §. 4.*

[3] Rapporto, p. 12. §. 4. — p. 55. §. 22. — p. 279 (a).*

Privatnachrichten, bekanntlich weiter, dafs der »eorum ..... alter, qui nobis electricitatem tentantibus praesto erat« Niemand anders als jene geistvolle, frühverstorbene Lucia selber gewesen sei, die entzückt ihren Gemahl von dem wunderbaren Vorgang zu unterrichten geeilt habe. Auf diesen Umstand deutet auch ein zu Ehren der Entdeckung, Italischer Sitte gemäfs, damals verfertigtes Sonett.[1] Von diesen Umständen, und dem Sonette, erwähnt Gherardi nichts.

Was ein anderes, über die Art und Weise, wie Galvani zu seinen Entdeckungen gelangte, verbreitetes Gerücht betrifft, so findet sich dasselbe jetzt allerdings entschieden durch die ersten oben angeführten

[1] Albert hat uns dasselbe aufbewahrt. Éloge etc. Ibid., 2. Note. * Ich theile dies nicht uninteressante Denkmal mit, so wie den Versuch einer Uebertragung in gebundener Rede, deren Mangelhaftigkeit ich zu entschuldigen bitte.

### *Sonett auf die Entdeckung des Galvanismus.*

Al Signor Luigi Galvani.

Quella donna gentil, cui d'aureo strale
Piagata il seno teco amor congiunse,
Poi morte con quel suo colpo fatale
Per farne bello il ciel a te disgiunse;
Quella, non tu, che novo ardor vitale
In rana ignuda a disvelar pur giunse,
Quand'una ed altra man con vanto eguale
Il conduttor metallo e i nervi punse.
Nè a te, Signor, questa fedel consorte
Tacque l'ignoto arcan, per cui tuo nome
Oltre l'italo suolo altero vasi.
Oh se vedessi, di si bella sorte
Com'ella esulta dolcemente e come
Di te ragiona e de' tuoi chiari passi!

An Galvani.

Das holde Weib, das Dir die Macht der Liebe,
Ihr Herz besiegt mit goldnem Pfeil, verband,
Dann Tod, mit seiner Sichel grausem Hiebe,
Als Blume für des Himmels Zier entwand;
Sie war's, nicht Du, die neue Lebenstriebe
In hautentblöfster Frösche Gliedern fand,
Wenn hier der Nerven wunderbar Getriebe,
Dort funkensprüh'nden Leiter traf die Hand.
Wie flog die Treue einst, Dir's zu vertrauen,
Das Zauberwort, auf dessen Fittig nun
Dein Name Meer und Alpen überschreitet!
Jetzt blickt sie nieder auf Dein rühmlich Thun,
Des Glückes froh, das Deinen Schritt geleitet:
O wär's auch uns vergönnt, sie so zu schauen!

Data seiner Untersuchungen widerlegt. Man kennt die abgeschmackte Geschichte des Anatomen Domenico Cotugno zu Neapel, für die es wohl endlich Zeit wäre, dafs sie in die verdiente Vergessenheit geriethe. Dieser ward eines Morgens (gegen Ende März 1784), als er an einem Tische safs, einer kleinen Hausmaus zu seinen Füfsen gewahr, die, nach ihrem Felle zu urtheilen, sehr jung sein mufste. »Da sich das »kleine Thier nicht sehr geschwind bewegen konnte, so ergriff ich »sie«, sagt er, »leicht bei der Haut auf dem Rücken, und wandte sie »so, dafs die untere Seite heraufwärts kam; und nun wollte ich sie »mit einem kleinen Federmesser, welches vor mir lag, lebendig anato»miren. Als ich den ersten Schnitt in den Bauch machte, befand sich »die Maus zwischen dem Daumen und Zeigefinger meiner linken Hand, »und ihr Schwanz ging zwischen den zwei letzten Fingern hindurch. »Kaum hatte ich nun einen Theil der Haut durchschnitten, so bewegte »die Maus ihren Schwanz zwischen meinen Fingern, und schlug damit »so heftig an meinen dritten Finger, dafs ich, zu meinem gröfsten »Erstaunen, durch den linken Arm bis an den Hals eine Erschütterung »fühlte, welche mit einem innern Zittern, einer schmerzhaften Empfin»dung in den Armmuskeln und einem solchen Schwindel im Kopfe »begleitet war, dafs ich, vor Schrecken, die Maus fallen liefs. Der »Krampf im Arme dauerte über eine Viertelstunde, und ich konnte »nachher nicht ohne Grauen an diesen Vorfall denken. Es war mir »vorher gar nicht eingefallen, dafs ein solches Thier elektrisch sein »könnte; allein jetzt wurde ich durch die Erfahrung davon hinlänglich »überzeugt.« [1] Wenige möchten jetzt diese Ueberzeugung theilen; allein so jung war damals die naturwissenschaftliche Kritik, und so gespannt waren alle Gemüther der Botschaft von einer thierischen Elektricität zugewendet, dafs dieser Bericht das gröfste Aufsehen machen konnte,

[1] S. den Brief des Cotugno über diesen Vorfall an Vivenzio, vom 2. October 1784, in Tib. Cavallo's vollständiger Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der Elektricität. Aus dem Englischen u. s. w. Bd. II. S. 251.* — Dieser Brief erschien zuerst in der italiänischen Uebersetzung des fünften Theils der Cavallo'schen Schrift, welcher von der Anwendung der Elektricität auf die Heilkunde handelt, und bereits vor dem Ganzen unter dem Titel veröffentlicht wurde: Teoria e Pratica dell' Elettricità medica del Signor Tiberio Cavallo ec. Napoli 1784. 4°. p. 157.* — Aus welcher Quelle Matteucci hergenommen (Traité etc. p. 4.*), dafs die Maus »l'avait mordu et blessé au bas de la jambe«, dafs Cotugno den Schlag erhielt, »en touchant avec son scalpel le nerf intercostal.....« und dafs er ein junger Arzt gewesen sei (Dom. Cotugno, geboren am 29. Januar 1736, vergl. Biografia degli Italiani illustri ec. per cura del Prof. Emilio de Tipaldo. vol. I. Venezia 1834. p. 290.*), ist mir nicht bekannt; meines Wissens giebt es aber keine andere als den oben angeführten Brief.

unzähligemal wieder vorgebracht wurde und endlich eine Stelle in allen Lehrbüchern der Elektricität und der Physiologie bis auf die neueste Zeit erschlich. Viele glaubten wohl, dafs derselbe Galvani ein Anlafs zu seinen erst 1791 ans Licht getretenen Untersuchungen gewesen sein mochte; man sieht indefs, was auch aus der Darstellung im Commentar selbst bereits genügend erhellt, dafs diese Vermuthung ungegründet war, da vielmehr Galvani damals bereits die Versuche des ersten Abschnitts seiner Abhandlung abgeschlossen hatte. [1]

Dieser ganze Abschnitt bewegt sich im Uebrigen in Abänderungen des ersten oben beschriebenen Versuchs. In dem zweiten Abschnitt geht Galvani über zu den Wirkungen der atmosphärischen Elektricität auf die Muskelbewegungen. Er untersucht nämlich jetzt den Rückschlag durch den Blitz, statt den durch den künstlichen Funken, am präparirten Frosch, wobei sich unter andern zeigte, dafs die Zuckungen stets, mit dem Licht des Blitzes isochron, dem Donner vorangingen und, was bemerkenswerth ist, dafs es beim Blitze nicht wie bei dem Funken mit einer Zusammenziehung der Muskeln gethan war, sondern es folgten gewissermafsen mehrere in dem nämlichen Augenblick auf einander. Da hinzugefügt wird, dafs diese ferneren Stöfse mit den Donnerschlägen übereinzutreffen schienen, so möchte es jedoch nicht gerathen sein, diesen Umstand mit der von Dove am Busolt'schen Farbenkreisel nachgewiesenen Discontinuität der Blitze [2] in Verbindung zu bringen. Die Reihe dieser Versuche beginnt in Galvani's Papieren mit dem 26. April 1786 und erstreckt sich bis zum 17. August desselben Jahres. [3] Sie wurden, in Gemeinschaft mit Galvani's Neffen, Camillo Galvani, auf einer zu einem Garten umgeschaffenen Terrasse bei Galvani's Hause angestellt. Dieses Haus, das alte Haus Panfili-Colonna, später Monti, besteht noch jetzt in der Strada S. Felice No. 96 (da S. Gervasio), zu Bologna. Man sieht noch jetzt, nach sechzig Jahren, von ihrem Gartenschmuck entkleidet, die dreifach abgestufte Terrasse, und, wo der höchste Punkt derselben in einen tiefen Hofraum nahgelegener Baulichkeiten abstürzt, jenes eiserne Geländer, welches an einem Septemberabend desselben Jahres 1786 die Geburtsstätte der neueren Elektricitätslehre ward. [4] Wer es liebt, sich ein möglichst lebendiges Bild von den Zuständen einer längst vergangenen

[1] Gherardi vertheidigt Galvani gegen diese Zumuthung in den Note al Rapporto, Nota 2. p. 74, und Nota 4. p. 88—91. *

[2] Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie. Bd. XXXV. S. 379. * — Dove's Repertorium der Physik. Bd. II. Berlin 1838. S. 44. *

[3] Rapporto, p. 28. §. 10. *

[4] Rapporto, p. 32. Nota. *

Jugendzeit der Wissenschaft abzurunden; wem es Freude macht, jene Häupter derselben, deren Ruhm jetzt unerreichbar dasteht, auch einmal auf den Hintergrund des wirklichen Lebens, wie es sie umrauscht hat, ihre bedeutenden Schatten werfen zu lassen: der lese in unseres Goethe italiänischer Reise die Schilderung der altehrwürdigen volkbelebten Stadt und ihres klösterlich-düstren Instituts, die er in denselben schönen Tagen mit beglücktem Auge durchwanderte, in denen, ihm unbewufst, hier in der Stille so Grofses vor sich ging. [1]

Durch welchen Zufall Galvani, im Laufe seiner Versuche über die atmosphärische Elektricität, zu der Entdeckung der Zuckungen durch Anlegen eines gleichartigen oder noch besser ungleichartigen Metallbogens an Nerv und Muskel geführt wurde, ist abermals allgemein bekannt. Eine grofse Menge darauf bezüglicher Handschriften hat sich unter seinem Nachlafs vorgefunden. Die erste derselben trägt das Datum vom 20. September 1786, die letzte vom 20. October desselben Jahres. Aufserdem ist ein Entwurf zu einer Abhandlung über diese Erscheinungen vorhanden, welche, dem Inhalt nach, dem dritten Abschnitt des Commentars entspricht. Er ist gezeichnet vom 30. October 1786; also nur zehn Tage nach den letzten Versuchen, die Galvani mit dem ehemaligen Spanischen Jesuiten Rialpi zu Bel Poggio, der Villa Jacob Zambeccari's, angestellt hatte, und volle fünf Jahre vor der Bekanntmachung des Commentars! In dieser Abhandlung erzählt Galvani genauer, als im Commentar, jenen Vorfall auf der Terrasse: »Ranas »itaque consueto more paratas uncino ferreo earum spinali medulla per»forata atque appensa, septembris initio (1786) die vesperascente »supra parapetto horizontaliter collocavimus. Uncinus ferream laminam »tangebat; en motus in rana spontanei, varii, haud infrequentes! Si »digito uncinulum adversus ferream superficiem premeretur, quiescentes »excitabantur, et toties ferme quoties hujusmodi pressio adhiberetur.« Bemerkenswerth ist, dafs hier Galvani den Haken als einen eisernen beschreibt, im Commentar hingegen wird derselbe Versuch bekanntlich als mit einem kupfernen (aereus) Haken angestellt angegeben. Dies rührt wohl unstreitig daher, dafs Galvani im Lauf der Versuche die Ueberlegenheit des ungleichartigen Metallbogens erkennen gelernt hatte und dafs er wünschte, etwaigen Wiederholungen seines ersten Versuchs in der ursprünglichen Gestalt die gröfstmöglichste Sicherheit des Gelingens zu verbürgen. [2] Galvani's Zweck bei dieser Anordnung war,

[1] Goethe's poëtische und prosaïsche Werke. Quartausgabe in zwei Bänden. Stuttgart und Tübingen 1836—1838. Bd. II. Abth. II. S. 299—302.*

[2] Rapporto, p. 34 seq. §. 11.*

die Wirkung der atmosphärischen Elektricität bei nicht gewitterndem Himmel auf die präparirten Schenkel zu ermitteln; da sich aber zwischen den wahrgenommenen Zuckungen und etwaigen Schwankungen des Standes der Atmosphäre kein Zusammenhang kund geben wollte, so wiederholte er dieselben Versuche im verschlossenen Zimmer, um zu sehen, ob der Erfolg vielleicht ein von der Luftelektricität ganz unabhängiger war, und so eröffnete sich ihm das unabsehbare Gebiet der Zuckungen durch Anlegen eines gleichartigen und ungleichartigen Metallbogens, welches er in dem dritten Abschnitt des Commentars auszubeuten beginnt.

Es ist in neuerer Zeit behauptet worden, dafs, abgesehen von Sulzer's bekanntem Geschmacksversuch, bereits mehr als hundert Jahre vor Galvani ein ächtes galvanisches Zuckungsexperiment angestellt worden sei. Duméril nämlich hat, in einer ziemlich unvollständigen Arbeit über die Verdienste des Froschs um die physiologischen Wissenschaften, in diesem Sinne auf eine Stelle in Swammerdam's Bibel der Natur aufmerksam gemacht. Er sagt:[1] »Il raconte ensuite comment il a rendu »évidente la contraction d'un muscle séparé de la cuisse d'une gre»nouille, et de quelle manière il a fait ses expériences, en 1658, »devant le grand-duc de Toscane. Comme on peut reconnaître dans »cette narration un véritable fait galvanique, nous croyons devoir la »rapporter dans ses détails..... Soit un tube de verre cylindrique »dans l'intérieur duquel est placé un muscle dont sort un nerf qu'on »a enveloppé dans les contours d'un petit fil d'argent de manière à »pouvoir le soulever sans trop le serrer ni le blesser; on a fait passer »ce premier fil à travers un anneau pratiqué à l'extrémité d'un petit »support en cuivre soudé sur une sorte de piston ou de cloison; mais »le petit fil d'argent est disposé de manière à ce que le nerf soit attiré »par la main vers l'anneau et touche ainsi le cuivre: on voit aussitôt »le muscle se contracter. Swammerdam indique aussi, par l'expérience »suivante, de quelle manière un muscle se renfle par la contraction, »et jusqu'où ses deux tendons peuvent alors se rapprocher l'un de »l'autre..... Il est évident que ces appareils réunissent toutes les »conditions requises pour que l'électricité galvanique se manifestât; mais »l'auteur attribuait seulement à la pression ce qui était le résultat du »contact des métaux par le fil d'argent formant un étui au nerf quand »il portait sur le support en cuivre.«

[1] Annales des Sciences naturelles. 2. Série. Zoologie. t. XIII. p. 65. * (4 Février 1840.) — Vergl. Erpétologie générale par MM. Duméril et Bibron. t. VIII. Paris 1841. p. 101. *

Die Darstellung Duméril's giebt einen so erstaunlich falschen Begriff von dem, was Swammerdam eigentlich mit diesen Versuchen gewollt und geleistet hat, dafs ich nicht umhin kann, dieselbe in mehreren Punkten zu berichtigen. Erstens, was freilich sehr unwesentlich ist, es ist keiner von diesen beiden Versuchen, welche Swammerdam dem Herzog von Toscana gezeigt hat, der ihn in Holland besuchte und vergebens an seinen Hof zu ziehen bemüht war, sondern die Art von Prioritätsreclamation, die in dieser Bemerkung des grofsen Amsterdamer Naturforschers liegt, bezieht sich auf den Versuch, wo man mit beiden Händen einen Froschmuskel an seinen Sehnen fafst, während ein Anderer mit einer Scheere den Nerven Stück für Stück abschneidet;[1] er suchte so eine Anschauung von dem Mechanismus der thierischen Bewegung zu geben. Auch geschah dies 1668, nicht, wie durch einen Druckfehler im Text steht, 1658; wie man aus Hermann Boerhaave's Leben des Verfassers ersehen kann, welches der Holländisch-lateinischen und der Deutschen Ausgabe vorgedruckt steht. In der Deutschen Ausgabe ist dieser Fehler auch im Text berichtigt. Der zweite von Duméril angeführte Versuch sodann hat mit dem Galvanismus ganz und gar nichts zu schaffen, da der Nerv, laut Swammerdam's Abbildung (tab. XLIX. fig. VI.), mittelst einer Pincette gequetscht wurde. Er steht p. 839. 840 der Boerhaave'schen, S. 330 der Leipziger Ausgabe. Swammerdam sucht nun zu beweisen, dafs der Muskel, indem er sich zusammenzieht und an Querschnitt zunimmt, doch nicht aufschwillt; wobei ihm vorzüglich die Widerlegung der Aufblähungstheorie durch die »thierischen Geister« im Sinne lag. Der Weg, den er dazu einschlägt, ist im Princip untadelhaft, und bereits derselbe, der in den trefflichen von Paul Erman[2] über diesen Punkt angestellten Versuchen befolgt worden ist; nur dafs Swammerdam, bei der Unkenntnifs hydro- und aërostatischer Gesetze, die man seiner Zeit zu Gute halten mufs, bei der Verwirklichung desselben in schwere Fehler verfällt. Er injicirt nämlich ein Froschherz mit Luft, bindet es zu, legt es auf den Stempel einer gläsernen Spritze, bringt einen Tropfen mit Blut gefärbten Wassers in die Canüle derselben und beobachtet die Veränderungen in dem Stande dieses Tropfens während der Systole des Organs. Natürlicherweise sinkt derselbe jedesmal, wenn das Herz, bei seiner Zusam-

[1] Joannis Swammerdammii, Amstelodamensis, Biblia Naturae. Holländisch und Lateinisch von Gaubius. t. II. Leidae 1738. Fol. p. 839. * — Bibel der Natur. Aus dem Holländischen übersetzt von Reiske (S. Blumenbach's Introductio in Historiam Medicinae litterariam. Goettingae 1786. p. 276.*) Leipzig 1752. Fol. S. 330.* — In beiden Ausgaben tab. XLIX. fig. V.

[2] Gilbert's Annalen der Physik. 1812. Bd. XL. S. 13.*

menziehung, die darin enthaltene Luft in die Enge treibt; SWAMMERDAM aber bringt dies auf Rechnung der Volumsverminderung des Muskelfleisches selbst. War das Herz nicht aufgeblasen, so bedurfte es des Mikroskops, um eine Schwankung des Tropfens zu gewahren.[1] Jetzt will er denselben Versuch mit einem beliebigen Froschmuskel anstellen, es tritt aber dabei die Schwierigkeit ein, dafs ein solcher sich nicht mehr, wie das Herz, freiwillig zusammenzieht, sondern in dem Verschlusse auf irgend eine Art mufs gereizt werden können. So kommt er zu der Einrichtung, welche in DUMÉRIL's Uebersetzung ganz unbegreiflich bleibt, da dieser die Sache irrthümlicherweise so hinstellt, als sei SWAMMERDAM's Absicht bei diesem Versuch vor Allem gewesen, einen Muskel zur Zuckung zu vermögen: »Il raconte ensuite comment »il a rendu évidente la contraction d'un muscle séparé de la cuisse »d'une grenouille.« — »Vitreus nimirum siphunculus musculum .... »in cavo suo continet;« — sagt SWAMMERDAM, indem er auf die achte Figur der schon mehrfach angeführten Kupfertafel hinweist — »nervus »autem, de musculo pendens, tenui quodam filo argenteo in se cir»cumflexo, absque laesione aut pressu, comprehenditur: quod filum »deinde per foramen fili aenei, siphonis embolo ferruminati, trajicio. »His omnibus ita dispositis, guttula aquae, per subtile infundibulum, »in tenuem siphunculi tubulum immittenda est.« Nämlich auf der inneren Fläche des Stempels ist ein Kupfer- oder Messingstift befestigt, und sein Ende in eine Oese umgebogen. Zwischen Stempel und Spritzenwand hindurch tritt ein feiner Silberdraht in den inneren Raum, ist durch die Oese gezogen und dann um den Nerven geschlungen, so dafs dieser, vermöge der Steifigkeit des Drahtes, beliebig in der Spritze regiert und zur Quetschung in der Oese des Stiftes gebracht werden kann. DUMÉRIL's Uebersetzung ist von hier ab völlig willkürlich in seinem Sinne gehalten. Von dem: »de manière à ce que le nerf soit »attiré par la main vers l'anneau et touche ainsi le cuivre: on »voit aussitôt le muscle se contracter,« was allerdings recht mit der Erscheinungsweise des Galvanismus übereinkommen würde, hat SWAMMERDAM Nichts; er fährt fort: »Quodsi dein filum argenteum, manu »suspensa, prudenter, per annulum fili aenei, inter embolum et inter»nam siphonis superficiem, eousque protrahitur, donec nervus in»terpressus« — (DUMÉRIL citirt an beiden Stellen falsch impressus) — »irritetur; musculus iste simili se modo, ac de inflato »corde memoravi, contrahere observatur.....« Er setzt übrigens

[1] BOERHAAVE's Ausgabe, p. 845—849. * — REISEL's Ausgabe, S. 332—334. * — Ibid., fig. VII.

hinzu: »Interim sensibile admodum est hoc experimentum, et tot conditionum accurationem reposcit, ut vel sine taedio vix institui queat,« und erfindet deshalb eine andere Anordnung, indem er mit Diamant eine Oeffnung in das Spritzenrohr schneidet, hier den Nerven durchzieht, die Oeffnung rings herum mit Fischleim und Stärkekleister verklebt, und den heraushängenden Nerven auf die gewöhnliche Art reizt. In beiden Fällen, vorzüglich in dem letzteren, war die Bewegung des Tropfens beinahe Null, und SWAMMERDAM empfiehlt daher schliefslich von Neuem das aufgeblasene Froschherz, wie es scheint in der Meinung, dafs der annähernd negative aber, wie wir jetzt wissen, richtige Erfolg bei andern Muskeln auf Rechnung ihrer nach dem Tode minder lebhaften Zusammenziehung zu bringen sei. [1]

Man sieht demnach, dafs nur in einem von SWAMMERDAM's Versuchen die Möglichkeit einer galvanischen Wirkung gegeben war; dafs gleichzeitig mit derselben, in That und Wahrheit, eine Quetschung des Nerven eintrat, da die Vorrichtung gerade dies bezweckte; dafs auf keinen Fall SWAMMERDAM auch nur entfernterweise geahnt hat, dafs hier etwas Anderes, als eine mechanische Reizung, vor sich gehen könne, geschweige dafs er auf die Nothwendigkeit der Gegenwart zweier Metalle aufmerksam geworden sei. Wenn auf diese Weise, vor einer strengeren historischen Kritik, das Interesse von DUMÉRIL's Bemerkung etwas zusammenschmilzt, so leidet wenigstens SWAMMERDAM's Ruhm so wenig darunter, als er durch das entgegengesetzte Ergebnifs erhöht worden wäre. Er bleibt immer, durch seine »*Historia ranarum*«, Derjenige, welcher der Physiologie den Frosch, das wichtigste Organ ihrer Untersuchungen, entdeckt hat.

Doch wir kehren zu GALVANI zurück. Folgendes sind die hauptsächlichsten, nun erst wirklich galvanischen Thatsachen, zu denen er im dritten Abschnitt des Commentars gelangt.

Nur Bögen aus Leitern der Elektricität, d. h. Metallen, bewirken, zwischen Nerv und Muskel angebracht, Zuckungen. Diese sind sicherer zu erhalten, stärker und von längerer Dauer, wenn die Bögen aus verschiedenen Metallen zusammengesetzt sind, als wenn sie aus einem einzigen bestehen. Reiben der metallischen Enden eines unterbrochenen Bogens aneinander befördert ihr Erscheinen. Es ist gleichgültig, ob der Bogen in der Hand gehalten werde, oder isolirt sei; die Versuche gelingen auch, wenn das Thier unter Wasser versenkt ist, oder überhaupt durch Wasserschichten hindurch, nicht aber unter Oel, oder

[1] BOERHAAVE's Ausgabe, p. 849. 850.* — REISKE's Ausgabe, S. 334.* — Ibid., fig. IX.

durch Schichten öligter Flüssigkeiten hindurch; die thierischen Theile sind sämmtlich Leiter, vielleicht blos der Feuchtigkeit wegen, mit welcher sie theils von Natur, theils bei ihrer Zerschneidung und Zubereitung benetzt sind. Es ist vortheilhaft, die Nerven mit einem Metallblättchen, vorzüglich mit einem von Zinn, oder auch mit dem gewöhnlichen Amalgam der Reibzeuge an Elektrisirmaschinen zu belegen, während die entsprechende Belegung der Muskeln nicht viel austrägt;[1] in dem ersten Falle werden die Wirkungen so verstärkt, dafs sie sich durch eine Kette von drei und mehreren Menschen fortpflanzen. Die Zuckungen erfordern eine unmittelbare Berührung der Kettenglieder, wodurch sie sich von den durch die gemeine Elektricität bewirkten unterscheiden. Auch durch Anlegen des Bogens an den zum Theil mit Stanniol belegten, zum Theil davon entblöfsten Muskel allein erhielt Galvani schwache Zuckungen, viel besser aber, indem er ebenso mit dem bloſsen Nerven verfuhr.[2] Dieselben Versuche gelingen, wie an Fröschen und Schildkröten, auch an Säugethieren und Vögeln; sie sind sehr abhängig von allerlei den Thieren anhaftenden Bedingungen: Art des Thieres, Alter, Kräftezustand desselben; auch Jahreszeit und Witterung wurden nicht ohne Einfluſs erfunden. Durch diese Versuche erschöpfte

[1] Dies rührte vermuthlich daher, dafs an den Muskeln der Bogen auch ohne Stanniolbelegung in einer grofsen Ausdehnung berühren konnte, und aufserdem daher, dafs, da das Stanniol stets das positivere Metall des Bogens war, der Strom in diesem Falle die Nerven von ihrer Ausbreitung nach ihrem Ursprung durchlief, was dem Erscheinen von Zuckungen minder günstig ist, als die umgekehrte Richtung. S. unten, 2. Abschn., Kap. II. §. III.

[2] Mit Unrecht spricht daher Volta, als ob Galvani diese Art, Zuckungen hervorzubringen, unbekannt geblieben wäre. Collezione dell' Opere ec. Ivi, p. 86. (Memoria seconda sull' Elettricità animale) p. 132. (First Letter to Mr. Tiberius Cavallo §. 13.) Galvani's Worte sind (Ibid., p. 88*): ».... sed tamen haud raro »aliquas....« (contractiones prodire) »....si una arcus extremitas armato musculi »loco accommodaretur, altera adjacenti ac nudae ipsius musculi superficiei; secus »vero tentato experimento nullas prodire: idem quoque evenire, sed longe difficilius »in interna musculi substantia; sed facilius longe, et promptius contractiones obo»riri, si eadem ratione armato nervo arcus adhiberetur, immo si arcus loco deferen»tis alicujus corporis exigua licet extremitas in usum vocaretur, atque partim limbus »metallici folii, partim nudus nervus eadem attingeretur.« — Unbegreiflich ist freilich, dafs dieser Umstand von so hervorragender Wichtigkeit Galvani's Aufmerksamkeit in so geringem Mafse auf sich zog, und dafs dieser sich später in eine Theorie einliefs, welche gerade vor diesem Versuch keinen Augenblick Bestand haben konnte; allein durch Volta darauf aufmerksam gemacht, ward es ihm doch, bei seiner Art, Vermuthungen auf Vermuthungen grundlos zu häufen, nicht schwer, auch von diesem Punkt sich vermeintlich Rechenschaft abzulegen, und bei dieser Gelegenheit erinnert er an den bereits im Commentar beschriebenen Versuch: Zweiter Brief an Spallanzani. Opere edite ed inedite ec. p. 339.*

Gliedmafsen, welche übrigens, wie bereits im ersten Theil des Commentars bemerkt wird, schneller in Fäulnifs übergehen, als in Ruhe gebliebene, erhalten durch Ruhe ihre Leistungsfähigkeit zurück.

Unter diesen Thatsachen berühren uns hier zunächst nur die Zuckungen unmittelbar, welche durch den gleichartigen Bogen erhalten sind, indem diese wenigstens zum Theil wirklich von dem Thiere ausgehen mochten. Sie sind besonders erwähnt Comm. p. 83. Da nämlich, wie sich später zeigen wird, die Gleichartigkeit der beiden Enden eines aus einem Metall bestehenden Bogens leicht nur scheinbar sein kann, wenn nicht die äufserste Obhut auf diesen Punkt verwendet worden ist, so ist es möglich, ja gewifs, dafs unter diesen Zuckungen auch viele angeführt sind, welche einer solchen versteckten Ungleichartigkeit ihren Ursprung verdankten. Diese Trennung wufste Galvani nicht zu machen; Volta war es vorbehalten, den Knoten zu entwirren, der sich unter der zwar glücklichen, aber keineswegs klar fühlenden Hand des Bolognesers geschürzt hatte. Dieser blieb hier zunächst mit seinen Erfahrungen stehen; seltsam genug hegte er sie im Verborgenen fünf weitere Jahre lang, ohne sie auszudehnen, dem Anschein nach nur bemüht, eine Theorie aufzubauen, der weder der Gegenstand in seiner jetzigen Form, noch er selber gewachsen war. In dieser Zeit kam er noch einmal (April 1787) auf seine Versuche über die atmosphärische Elektricität zurück,[1] deren Interesse jetzt füglich für ihn hätte erloschen sein können. Es ist sehr merkwürdig zu hören, dafs Galvani, in seinen ersten Betrachtungen, das Richtigere getroffen zu haben scheint, und erst später sich zur Vorstellungsweise verlocken liefs; welche sich in dem vierten Theile des Commentars entwickelt findet. Man liest nämlich, von seiner Hand, auf dem Umschlag der Tagebücher, die seine ersten galvanischen Versuche vom September 1786 enthalten, zu wiederholten Malen die Aufschrift: »*Esperimenti circa l'Elettricità de' metalli.*« Allein bereits die Abhandlung vom 30. October desselben Jahres, deren Inhalt, wie oben bemerkt wurde, dem dritten Theil des Commentars entspricht, hat die Aufschrift: »*de animali Electricitate*«.[2] So scheint auch Galvani früher eine viel richtigere Ansicht von der Art und Weise gehabt zu haben, wie die Elektricität Muskeln zum Zucken bringe. Aus Handschriften, welche in die Zeit seiner ersten Versuche über den Rückschlag durch den Funken und den Blitz gehören, ersieht man, dafs er ein »principio mobilissimo esistente nei nervi« annahm, durch dessen Bewegung durch

[1] Rapporto, p. 41. §. 12.

[2] Rapporto, p. 35. 39. §. 11.

die Elektricität »l'azione della forza nerveo-muscolare« erregt werde;[1] nicht anders hat sich bekanntlich seitdem bis auf die neueste Zeit die Physiologie über diesen Punkt auszudrücken vermocht.

Von Galvani's Theorie, welche er übrigens in der That bereits im Geiste der ächten naturwissenschaftlichen Methode von seinen Erfahrungen streng geschieden hat, vermag ich dem Leser nicht besser ein Bild vorzuführen, als indem ich aus Pfaff's Schrift »*Ueber thierische Elektricität und Reizbarkeit*«,[2] die uns später noch vielfach von Wichtigkeit werden wird, den Abriſs derselben hersetze. »I. Die »Thiere haben eine eigenthümliche selbstständige Elektricität, welche »den Namen thierische Elektricität verdient. II. Die Organe, in »welchen diese thierische Elektricität vorzüglich wirkt, und durch »welche sie dem ganzen Körper mitgetheilt wird, sind die Nerven, »und das wichtigste Absonderungsorgan derselben ist das Gehirn. »III. Die innere Substanz der Nerven, wahrscheinlich die dünnste Lym»phe, ist mit Leitungskraft für die Elektricität begabt, und macht »daher die freie und schnelle Bewegung der Elektricität durch die »Nerven möglich, zugleich verhindert aber der öligte Ueberzug der »Nerven die Zerstreuung dieser Elektricität, und erlaubt ihre Anhäu»fung. IV. Die vorzüglichsten Behälter der thierischen Elektricität sind »die Muskeln. Sie stellen gleichsam eine Leidner Flasche »vor, und zwar ist ihre äuſsere Oberfläche negativ, in »ihrem Innern hingegen ist die Elektricität angehäuft, das »also positiv ist. Der Nerve ist der Conductor dieser »Flasche, der neben den Blutgefäſsen die Muskeln mit Elektricität »versieht. V. Der Mechanismus aller Bewegungen besteht kurz darin, »daſs die elektrische Flüssigkeit aus dem Innern der Muskeln in die »Nerven derselben gezogen und geleitet wird, und daſs sie nun aus »diesen auf die äuſsere Oberfläche der Muskeln überströmt, folglich »coëxistirt mit jeder Zusammenziehung gleichsam eine Entladung der »musculösen Leidner Flasche, und diese ist die Ursache von jener, »die Zusammenziehung eine Folge des Reizes, den die auf die äuſsere »Oberfläche der Muskeln überströmende Elektricität auf die reizbaren »Muskelfasern ausübt.«[3]

[1] Rapporto, p. 18. §. 5.*

[2] Leipzig 1795. S. 329. 330.* — Galvani selbst hat einen solchen kurzen Abriſs seiner Theorie gegeben im Eingang zum dritten Brief an Spallanzani. Opere edite ed inedite ec. p. 345. 346.*

[3] Was hier von dem ganzen Muskel ausgesagt ist, läſst Galvani, nach Belieben, übrigens auch von dem einzelnen Muskelbündel gelten. Um die Vertheilung der positiven und der negativen Elektricität an der vermeintlichen thierischen Kleist'-

Von unserem jetzigen Standpunkt aus scheint es nun allerdings, als wenn selten eine schwächere, nie eine kühnere Hypothese in die Welt gesandt worden wäre, als diese: so grofs däucht uns der Sprung von den Thatsachen zu den darin gesetzten theoretischen Vorstellungen, so gering das mechanische Verständnifs in derselben. Indefs als der gröfste Fehler, den Galvani dabei beging, mufs wohl der oben bereits angemerkte Umstand betrachtet werden, dafs er die ihm doch bekannte Möglichkeit übersah, durch blofses Anlegen des Bogens an Nerven und Muskeln allein Zuckungen zu erhalten. Denn der uns als so äufserst unstatthaft entgegenspringende Vergleich des Muskels mit einer Kleist'schen Flasche, die Annahme von Spannungsverhältnissen in einer mit Flüssigkeit durch und durch getränkten Masse, diese Vorstellungsweise mufs damals, wo man eben die Elektricität erst von dieser Seite her kannte, nicht so abenteuerlich erschienen sein, als dies jetzt der Fall ist, da, wie wir sogleich sehen werden, Volta selbst im ersten Augenblick darauf eingehen konnte, und erst auf Grund anderer Schwierigkeiten davon abging.

---

## §. II.

## Volta's Kampf gegen die angebliche thierische Elektricität.

Der Sturm, den das Erscheinen des Commentars in der Welt der Physiker, der Physiologen und Aerzte erregte, kann nur dem verglichen werden, der zu derselben Zeit (1791) am politischen Horizont Europa's heraufzog. Man kann sagen, wo es Frösche gab, und wo sich zwei

schen Flasche festzustellen, schlug er, wie hier nachträglich bemerkt werden mag, folgenden Weg ein: er berührte die Nerven und Muskeln abwechselnd mit einer (geriebenen) Stange Glas und Siegellack. Das Glas gab weder an Nerv noch an Muskel Zuckungen, das Siegellack an den ersteren. Daraus schlofs er, dafs die Elektricität der Nerven positiv sein müsse, weil sie nur dann, in Verbindung mit der Elektricität des Siegellacks, eine Entladung zu Wege bringen konnte. (Commentar, 3. Theil, p. 85.*) Die Aufsenfläche der Muskeln mufste alsdann, da er sie als die äufsere Belegung der Kleist'schen Flasche ansah, negativ elektrisirt sein. Diese Erfolge sind übrigens zum Theil unverständlich. Man begreift nicht, weshalb nicht gerade beim Glase eher als beim Siegellack Zuckungen entstanden, da alsdann der Strom absteigend war. (S. unten, 2. Abschn., Kap. II. §. III.) Nur das ist deutlich, dafs die Berührung der Muskeln wohl deshalb in beiden Fällen ohne Wirkung blieb, weil die Dichtigkeit des Stroms in den Nerven dann nicht mehr grofs genug ausfiel. (S. ebendas., §. I.)

Stücke ungleichartigen Metalls erschwingen liefsen, wollte Jedermann sich von der wunderbaren Wiederbelebung der verstümmelten Gliedmafsen durch den Augenschein überzeugen; die Physiologen glaubten ihren hergebrachten Traum einer Lebenskraft mit Händen zu greifen; den Aerzten, denen Galvani selbst bereits mit Erklärungsversuchen von allerlei Nervenkrankheiten, Ischias, Tetanus und Epilepsie nur allzu leichtfertig vorangegangen, schien keine Heilung mehr unmöglich, und zum wenigsten scheintodt konnte Niemand mehr begraben werden, der zuvor galvanisirt worden war!

Am lebhaftesten war natürlich die Aufregung in Italien selbst, nirgends aber mehr als in Volta's Umgebung, um dessen Behandlung des Gegenstandes sich fortan diese ganze Geschichte dreht. Er hatte bereits vermöge einer Reihe der feinsten elektrischen Untersuchungen, vorzüglich über den von ihm adoptirten Wilke'schen Elektrophor und über den Condensator, eine Schule durchgemacht, aus der er seit geraumer Zeit als anerkannter Meister in diesem Gebiete hervorgegangen war. Er schildert uns selbst den Eindruck, den die ersten Nachrichten von Galvani's Entdeckungen auf ihn machten, die für ihn so bedeutungsvoll werden sollten: »Debbo però confessare, che incredulo, e »con non molta speranza di buon successo mi ridussi a fare le prime »prove, tanto sorprendenti pareanmi i descritti fenomeni, e, se non »contrarj, superiori troppo a tutto quello che dell' elettricità ci era »noto, tal che mi aveano del prodigioso. Della quale incredulità mia »e quasi ostinazione .... domando perdono all' Autore della scoperta, »ec.« [1] Wie bald sollte Volta von seiner zweiten durch die augenblicklich überraschenden Erfolge bestimmten gläubigen Bewegung zu seinen ersten Zweifeln zurückkehren! Aber wie ganz anders schmiegt sich sogleich vor seinem Talente, seiner Methode, der trübe Stoff der Untersuchung!

Seine ersten Versuche sind alsbald darauf gerichtet, durch das Mafs festzustellen, wie grofs denn nun wirklich die Empfindlichkeit des nach Galvani's Vorschrift zugerichteten Froschs für die Reizung durch künstliche Elektricität sein möge. Galvani hatte bereits allgemein behauptet, dafs dieses Präparat das empfindlichste bekannte Elektroskop sei; [2] Volta wies jetzt nach, dafs es durch eine Ladung der Kleist'schen Flasche erschüttert werde, die kaum $0^{\circ}.10$ des Bennet'schen Goldblattelektroskops betrage, und nur mit Hülfe seines Condensators

[1] Collezione dell' Opere ec. Ivi, p. 35. * Memoria sull' Elettricità animale (5. Maggio 1792). Parte seconda. §. 25.

[2] Commentar, 2. Theil, p. 77. * »Et exquisitiora electrometra vix ullam mo»vebant de electricitate suspicionem.«

wahrgenommen und bestimmt werden könne. Dann erst wendet er sich zur Wiederholung der Versuche aus Galvani's drittem Abschnitt, welche er mit Metallbelegung der Nerven oder Muskeln und einem Messingbogen anstellt, und neigt sich allerdings ganz zu den nämlichen Folgerungen, die Galvani selbst daraus entnommen hatte. Unmöglich könne der Bogen hier etwas Anderes bewirken, als einer vorhandenen Spannung Gelegenheit zur Ausgleichung bieten; der präparirte Frosch verhalte sich also, in gewisser Rücksicht, wie eine geladene Kleist'sche Flasche. Die Gröfse dieser Ladung sucht er abermals sogleich in Graden seiner Elektrometer zu schätzen; er vergleicht sie 0°.05 — 0°.06, höchstens 0°.10 seines Strohhalmelektricitätsmessers. Um das Zeichen der Vertheilung in Bezug auf Nerv und Muskel zu bestimmen, schlägt er den nämlichen Weg ein, der wohl bereits Galvani bei seinem Versuch mit der geriebenen Glas- und Siegellackstange (S. oben S. 49 Anm. 3) dunkel vorgeschwebt hatte: er entlud nämlich durch den Frosch eine überaus schwach geladene Flasche bald in der Richtung von der Wirbelsäule zu den Muskeln, bald im umgekehrten Sinne. So fand er, dafs im ersten Falle eine Ladung, der oben dem Frosch selbst zugeschriebenen entsprechend, Zuckungen hervorzubringen vermochte; im zweiten hingegen war eine solche von 0°.20 — 0°.30 nicht hinlänglich, um dasselbe zu bewirken. Hieraus schlofs er, Galvani's Ansicht zuwider, dafs der Nerv negativ, die Aufsenfläche des Muskels positiv elektrisirt sei; durch einen Zufall hatte er so, in letzterer Beziehung, wie wir sehen werden, das Rechte getroffen. Jene Ungleichheit der Wirkung je nach der Richtung des Stromes rührte aber nicht, wie er glaubte, davon her, dafs in dem einen Falle sich eine dem Thiere angehörige Ladung mit der der Flasche verband, in dem andern davon abzog; sondern dies war der erste Keim eines grofsen Gebietes der Elektrophysiologie, welches später auf Deutschem Boden wiederum selbständig erwuchs, und nachmals von uns durchmustert werden wird: der Lehre nämlich von den verschiedenen Bedingungen des Eintretens und Ausbleibens von Oeffnungs- und Schliefsungszuckung je nach der Richtung des Stroms in den Nerven.[1] Dies ist der Inhalt von Volta's erstem Schreiben über die neue Erscheinung, welches er, durch Mailand nach seinem Landsitze am Comer See reisend, wo er die meisten seiner grofsen Arbeiten ausführte, am 3. April 1792 an den Mailänder Arzt Giuseppe Baronio richtete.[2] Ganz dieselben Versuche und Vor-

[1] S. unten, 2. Abschn., Kap. II. §. III.

[2] Collezione dell' Opere ec. Ivi, p. 3.* — Galvani's Commentar übersetzt von Mayer u. s. w. S. 158.* — Dieselben ersten Versuche Volta's theilte Bassano Carminati in Pavia Galvani in einem Schreiben vom 3. April mit, welches sich

stellungsweisen finden sich noch in einer Rede wieder, die er am 5. Mai bei Gelegenheit einer Promotion zu Pavia hielt,[1] und in der »*seconda Memoria sull' Elettricità animale*«, deren genaues Datum mir fehlt, welche aber zwischen Mai und Juli desselben Jahres 1792 fallen mufs.[2] Hier ist übrigens zuerst die Erklärung von Galvani's ursprünglicher Erfahrung über den Rückschlag gegeben,[3] und die messenden Versuche mit der Kleist'schen Flasche sind in ausgedehnterem und verfeinertem Mafsstabe mitgetheilt.

Allein hier bereits sehen wir Volta an der von Galvani überkommenen Deutungsart irre werden. Er findet, bei vermannigfachter Gestalt des Experiments, wie es scheint, selbständig die Möglichkeit von Zuckungen durch Reizung der Nerven allein wieder auf. Sogleich schliefst er, Galvani's Ansicht zuwider, dafs die Zusammenziehung Nichts sei, als eine mittelbare Folge der allein unmittelbar erregten Nervenkraft. Zugleich stöfst es ihm auf, dafs in diesem Falle nur noch ungleichartige Belege im Stande seien, Zuckungen zu bewirken. Die Wichtigkeit dieser letzteren Bedingung der Ungleichartigkeit tritt ihm von Neuem in dem Umstand entgegen, dafs, bei Versuchen mit nicht zugerichteten Thieren, oder solchen, an denen allein die Muskeln blofsgelegt sind, gleichartige Metalle sich unwirksam erweisen. Jetzt erwägt er, wie es wohl möglich sein werde, am lebenden menschlichen Körper durch denselben Kunstgriff ungleichartiger Metallbewaffnung Zuckung zu erregen. Die Aehnlichkeit der physikalischen Bedingungen, welche die Zunge, ein mit einer dünnen und feuchten Haut bekleideter willkürlicher Muskel, mit einem unverletzten Frosche darzubieten scheint, fällt ihm in die Augen; er tritt, mit Stanniol und einem silbernen Löffel, vor den Spiegel, ist aber erstaunt, statt der erwarteten Muskelbewegung, eine seltsame Geschmacksempfindung zu vernehmen. So brachte Volta zum ersten Male den alten Sulzer'schen

gleichfalls bei Mayer, a. a. O. S. 149,* in Galvani's Opere edite ed inedite ec. p. 135.* findet. Galvani antwortete darauf unterm 8. Mai desselben Jahres, s. Mayer, a. a. O. S. 168,* Opere edite ed inedite ec. p. 141.* Sein Schreiben enthält nichts Bedeutendes.

[1] Collezione dell' Opere ec. Ivi, p. 13, parte prima; p. 35, parte seconda.* Der erste Theil giebt eine Uebersicht über vermeintliche ältere thierisch-elektrische Erfahrungen. Dasselbe setzte sich gröfstentheils eine Abhandlung Aldini's vor, welche der zu Modena 1792 erschienenen zweiten Ausgabe von Galvani's Commentar zur Einleitung dient. S. oben, S. 11 Anm.

[2] Ivi, p. 55.* Es ist nämlich das Imprimatur von Aldini's eben erwähnter Abhandlung, welche, wie man sogleich sehen wird, bereits auf Volta's seconda Memoria Bezug nimmt, vom 28. Juli d. J.

[3] Ivi, p. 61.* — S. oben S. 33 ff.

Geschmacksversuch[1] in seine natürliche Verkettung und schlofs alsbald, dafs auch die Empfindungsnerven dem noch dunklen Spiel der Wirkungen ungleichartiger Metallbelege zugänglich seien; denn dafs dieses den Grund der Wirkung enthalte, ging unwiderleglich daraus hervor, dafs bei verwechselter Lage der Metalle an der Zunge der Geschmack verschwand, oder sich vom Sauren zum Laugenhaften neigte. Da zugleich die Geschmacksempfindung sich als eine stetige kund gab, so konnte es ihm nicht länger verborgen bleiben, dafs jenes Spiel, welches es auch sei, keine augenblickliche Entladung vorstelle, sondern während der ganzen Dauer des Geschlossenseins unablässig sich erneure.

Dafs die Mehrzahl der galvanischen Erscheinungen nichts mit einer thierischen Elektricität zu schaffen hätten, war Volta nunmehr klar geworden. »Oui, c'est un tout autre jeu du fluide électrique, dont »on doit dire plutôt, qu'on trouble l'équilibre que de le rétablir....« schreibt er im Herbste noch desselben Jahres 1792 an den Elektriker Tiberius Cavallo in London. »C'est ainsi que j'ai découvert une »nouvelle loi, qui n'est pas tant une loi d'électricité animale, qu'une »loi d'électricité commune, à laquelle on doit attribuer la plupart des

[1] S. Histoire de l'Académie des Sciences et Belles-Lettres de Berlin. (Année 1752) 1754. 4°. Recherches sur l'origine des sentiments agréables et désagréables, par M. Sulzer. Troisième partie. Des plaisirs des sens. p. 356. Note:* »Cette »supposition paraît confirmée par une expérience assez curieuse. Si l'on joint deux »pièces l'une de plomb, et l'autre d'argent, de sorte que les deux bords fassent »un même plan, et qu'on les approche sur la langue on en sentira quelque goût, »assez approchant au goût de Vitriol de fer, pendant que chaque pièce à part ne »donne aucune trace de ce goût. Il n'est pas probable, que par cette jonction des »deux métaux, il arrive quelque solution de l'un ou de l'autre, et que les parti»cules dissoutes s'insinuent dans la langue. Il faut donc conclure, que la jonction »de ces métaux opère dans l'un ou l'autre, ou dans tous les deux, une vibration »dans leurs particules, et que cette vibration, qui doit nécessairement affecter les »nerfs de la langue, y produit le goût mentionné.« Dies ist und bleibt, trotz Duméril, die erste ächt galvanische Erfahrung. — Wie hier Sulzer, so wollte Borelli einst durch mechanisches Erzittern die starrenmachende Wirkung der Zitterfische erklären. (De Motu Animalium. Ed. nova. Neapoli 1734. 4°. Pars secunda. p. 401.*) — In der oben bereits angeführten geschichtlichen Abhandlung Aldini's (Galvani's Commentar zu Modena 1792. p. XVII. §. XXII.*) erinnerte dieser sogleich nicht ohne einige Bitterkeit an die Sulzer'sche Wahrnehmung: »Cl. Volta »Sulzeri observationem omnium primus ad animalis electricitatis theoriam revocavit, »exornavitque ita ut prope suam fecisse videatur.« Volta suchte sich unterm 24. November 1792 von dieser Anschuldigung zu reinigen, indem er betheuert, von dem Versuche Sulzer's, den er allerdings in den letzten Jahren seines Lebens persönlich kennen gelernt habe, nicht unterrichtet gewesen zu sein. (Memoria terza sull' Elettricità animale in una Lettera diretta al Signor Giovanni Aldini, Collezione dell' Opere ec. Ivi, p. 177 seg.*)

»phénomènes qui paraissaient, d'après les expériences de Galvani, et »d'après plusieurs autres que j'avais faites moi-même à la suite de »celles-là, appartenir à une véritable électricité animale spontanée, et »qui n'en sont pas; ce sont réellement des effets d'une électricité arti»ficielle très-faible, qui s'excite d'une manière dont on ne s'était pas »douté, par la simple application de deux armures de différents mé»taux....[1] aux substances animales vivantes ou mortes ou à d'autres »conducteurs non métalliques, mais suffisamment bons, comme à l'eau, »ou à des corps mouillés.«[2] Er fügt indefs hinzu: »Je dois dire »ici, qu'à la découverte de cette loi nouvelle, de cette électricité arti»ficielle jusqu'à-présent inconnue, je me défiai d'abord de tout ce qui »m'avait paru démontrer une électricité animale naturelle, dans le sens »propre, et que j'étais sur le point de revenir de cette idée. Mais »repassant, avec un examen réfléchi, tous les phénomènes, et répétant »les expériences sous ce nouveau point de vue, je trouvai enfin que »quelques unes soutiennent encore cet examen (celles, par exemple, où »l'on n'a pas besoin d'armures différentes, ni même d'armure quel»conque, un simple fil métallique, ou tout autre corps déférent, faisant »office d'arc conducteur entre le nerf isolé et un des muscles dépen»dants, pouvant exciter dans ceux-ci les convulsions), et qu'ainsi »l'électricité animale naturelle et proprement organique subsiste, et ne »peut pas être renversée entièrement. Les phénomènes qui l'établissent, »quoique beaucoup plus limités, ne laissent pas que d'être démonstra»tifs.... Ce qu'on trouvera peut-être plus désagréable, c'est qu'il »faut aussi renfermer en des limites plus étroites son empire dans »l'économie animale, et renoncer aux plus belles idées qu'on avait »conçues, et qui paraissaient nous mener à expliquer clairement tous »les mouvements des muscles..... Ce sont encore des problèmes, »pour l'explication desquels nous n'en sommes pas plus avancés qu'avant »la découverte dont il s'agit.«[3]

Allein schon in zwei kurzen, darauf folgenden Aufsätzen, in denen er seine Entdeckung des galvanischen Lichtscheins bei Bewaffnung des Auges[4] wie früher der Zunge und der Fähigkeit der Kohle anzeigt,

[1] Account on some Discoveries made by Mr. Galvani of Bologna with Experiments and Observations on them. In two Letters, to Mr. Tiberius Cavallo. Collezione dell' Opere ec. Ivi, p. 133.* — Deutsch in Gren's Journal der Physik. Bd. VIII. 1794. S. 303. 389.*

[2] Ivi, p. 146.*

[3] Ivi, p. 134. 135.* Denselben Standpunkt nimmt Volta noch in zwei anderen Briefen ein, die er im August 1792 an den Abt Tomaselli in Verona und an van Marum in Harlem schrieb. — Ivi, p. 245—249. Nota.*

[4] Durch Reibungselektricität war, was jedoch wenig bekannt geworden zu sein

das negative Metall in den Ketten zu ersetzen, bedroht Volta die thierische Elektricität mit neuen Beschränkungen. Im zweiten Brief an Cavallo findet sich bereits die Möglichkeit leichthin angedeutet, dafs zwei Metalle gleichartig scheinen könnten, ohne es zu sein, dafs Unterschiede der Härte, der Politur u. s. w. allein hinreichend sein dürften, um ein Metallstück gleich zweien ungleichartigen in Fällen grofser Empfindlichkeit wirken zu machen;[1] dies wird jetzt (November 1792) unumwunden ausgesprochen: »Son, dico, oramai persuaso di questo, »massime osservando che nulla mai, o quasi mai non si ottiene senza »il contatto di qualche metallo, anzi di due diverse specie, o in »qualche altra cosa dissimili, cioè, per durezza, politura, lucidezza ec., »onde son condotto a congetturare, che quando pure si ottiene qualche »convulsione e moto, anche col contatto di due metalli, che sembrano »in tutto eguali (la qual cosa è rarissima, e solo accade talvolta ne' »primi momenti dopo la preparazione, quando la sensibilità de' nervi »è somma) l'effetto sia dovuto anche allora a qualche impercettibile »differenza fra di essi metalli. Se la cosa è così, che resta più dell' »Elettricità animale pretesa da Galvani, e dimostrata come parea dalle »sue bellissima sperienze? Niente altro che la prodigiosa eccitabilità de' »nervi inservienti alle sensazioni, e ai moti, massime voluntarj, per »lo stimolo del fluido elettrico messo in corrente da cause esterne; »che vuol dire una disposizione meramente passiva riguardo ad una »elettricità sempre estranea, ossia artificiale; di cui si risentono in »qualità, diciam così, di semplici elettrometri; come infatti, sono »elettrometri di una nuova specie, incomparabilmente più sensibili d'ogni »altro elettrometro.« [2] Und so war Volta, Schritt für Schritt, von seinem Glauben an die thierische Elektricität zu seinem ersten Unglauben zurückgekehrt, ein Standpunkt, auf dem er fortan unverrückt beharrte.

scheint, die subjective elektrische Gesichtsempfindung schon früher, fast gleichzeitig mit dem Sulzer'schen Geschmacksversuch, wahrgenommen worden, und zwar bei Behandlung Amaurotischer mit den erst kürzlich entdeckten Schlägen der Kleist'schen Flasche. S. le Roy in Histoire de l'Académie Royale des Sciences. Année 1755. Paris 1761. 4°. p. 9. 10. 11. Mémoires de Mathématiques et de Physique etc. p. 86. 90. 91. 92.« (p. 86: »Il disait aussi qu'il voyait à chaque coup comme »une flamme qui paraissait passer en descendant rapidement devant »ses yeux.«) Die Schläge gingen dabei von einem um den Kopf gewickelten Drahte zum Bein. Gleichzeitig traten seltsame Phantasmen auf. Auch ein Geräusch wurde bei den Entladungen wahrgenommen: p. 86 »il disait que quand on tirait »l'étincelle, il lui semblait entendre douze pièces de canon.«

[1] Ivi, p. 145.

[2] Nuove Osservazioni sull' Elettricità animale. (Novembre 1792.) Ivi, p. 166.« — Observationum circa Electricitatem animalem Specimen. Ivi, p. 172. 173.«

Aber bei diesen bloſsen Zweifeln hatte es sein Bewenden nicht. Auf die dichtgedrängte Reihe glänzender Leistungen, von denen so eben ein Abriſs gegeben wurde, folgt zunächst ein Zeitraum des Schweigens von über einem Jahr. Erst im December 1793,[1] und hier beginnt der wichtigste Abschnitt in der Geschichte der thierischen Elektricität, richtet er wieder einen Brief an den Physiker VASSALLI in Turin. »Che pensa Ella« — hebt er mit munterer Entschiedenheit an — »della pretesa Elettricità Animale? per me sono convinto da un »pezzo, che tutta l'azione procede originariamente dai metalli combacianti un corpo umido qualunque, o l'acqua stessa.«[2] Und nachdem er abermals auf die unerläſsliche Bedingung des Zusammentreffens ungleichartiger Metalle aufmerksam gemacht hat, von denen er bereits eine dem späteren Begriff der Spannungsreihe entsprechende ziemlich vollständige Rangordnung mittheilt, fährt er fort: »Anzichè dunque »chiamarsi Elettricità animale, potreble dirsi a più buon dritto »Elettricità metallica. Nè mi si opponga, che qualche volta si »ottengono i moti della rana preparata alla maniera di GALVANI, anche »impiegando i metalli dell' istessa qualità da una parte e dall' altra, »cioè argento e argento, mercurio e mercurio, stagno e stagno, ferro »e ferro. Sì, s'ottengono (non sempre però) ne' primi momenti, »quando l'animaletto praeparato nella miglior maniera è ancora tanto »eccitabile, che per un nulla si risente. Ma come assicurarsi, che »siano perfettamente e in tutto eguali i metalli che s'adoprano? Lo siano »pure di nome e nella sostanza: ma le qualità accidentali di durezza, »di tempera, di levigamento e lucidezza nella superficie, di calore ec. »possono farli differire abbastanza in ordine all' azione elettrica, al »potere cioè di spingere il fluido elettrico nel corpo umido che com»baciano, od attrarlo, non altrimenti che simili differenze ed altre »circostanze fanno (come è noto già dalle sperienze di CANTON, BERG»MANN, CIGNA, BECCARIA ec.), che gli stessi metalli, ed altri corpi, tro»vinsi più o men atti a dare o ricevere del fuoco elettrico eccitati »collo stropicciamento.«[3] Wie ein und derselbe idioëlektrische Körper, mit seinesgleichen gerieben, sich negativ oder positiv erweisen könne, je nachdem der eine oder der andere mehr rauh, mehr warm

[1] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. II. p. 31.*

[2] Nuova Memoria sull' Elettricità Animale, divisa in tre Lettere dirette al Signor Abate ANTON MARIA VASSALLI ec. Collezione dell' Opere ec. t. I. p. I. p. 197.* Die beiden ersten Briefe Deutsch in GREN's Neuem Journal der Physik. 1795. Bd. II. S. 141. 151;* der dritte besonders erschienen übersetzt von JOHANN MAYER. Prag 1796.

[3] Ivi, p. 200.*

sei oder mehr Reibung erfahre: so glaube er, dafs auch die Bewegung der elektrischen Flüssigkeit, welche, wie es die neuen Versuche bewiesen, durch die blofse Zusammenstellung der Metalle mit feuchten Körpern oder Wasser ohne merkliche Reibung bestimmt werde, ähnlich bedingt und mehr oder weniger begünstigt sein könne durch noch so kleine Unterschiede der Härte, der Wärme, der Glätte und des Glanzes an dem einen und dem anderen der als gleichartig erachteten Stücke Silber, Messing, Eisen, Blei, ja an verschiedenen Stellen eines und desselben Metallstabes und -Streifens. Und nun schritt er zum thatsächlichen Beweise: Er wählte einen eisernen Bogen, dessen beide Enden wirklich gleichartig waren, d. h. keine Zuckungen in einem frisch zugerichteten Frosch hervorbrachten, wie es ihm denn auch glückte, dergleichen von Silber und Messing ausfindig zu machen. Das eine Ende dieses Bogens steckte er eine halbe Minute lang in siedendes Wasser, und wiederholte jetzt den Versuch am Frosch, ohne dem erwärmten Ende Zeit zur Abkühlung zu gestatten; auf der Stelle erfolgten Zuckungen, bis dasselbe seinen natürlichen Zustand wieder angenommen hatte. Dasselbe gelang durch Anlassen des einen Endes, während das andere hart blieb, und beide Versuche glückten eben so gut mit Messing-, Silber- und Zinnstreifen, nur dafs beim Eisen, wie sich erwarten liefs, das Anlassen merklichere Unterschiede bedingte, als bei anderen Metallen, so dafs zwei ungleich gehärtete Eisenproben sogar stärker mit einander wirken konnten, als zwei wirklich ungleichartige, aber einander nahe stehende Metalle, wie Gold und Silber, Kupfer und Messing, Messing und Eisen, Blei und Zinn; ja in einzelnen Fällen sogar stärker wie Silber und Blei. Zwei mit einander unwirksame Stücke Blei wurden wirksam, als das eine mit dem Federmesser blank geschabt wurde, aber nur auf so lange Zeit, als es blank blieb; wurden beide in gleicher Weise behandelt, so erfolgte abermals keine Zuckung, oder nur in seltenen Fällen. Nach alle dem also sei die Beweiskraft der Versuche mit den blos dem Namen nach gleichartigen Metallbögen nichtig; er antworte darauf, indem er läugne, dafs die Metalle völlig gleichartig gewesen seien in den Fällen, wo Zuckungen erhalten wurden; dafs sie sich unterschieden hätten durch Wärme, Härtung, Glanz und Glätte, lauter Umstände, deren bisher übersehene Bedeutung er jetzt thatsächlich nachgewiesen habe; an Galvani sei es nunmehr, seinerseits den Beweis zu führen, dafs kein dergleichen Unterschied stattgefunden, eine wahrlich schwierige, wo nicht unmögliche Aufgabe! Wenn dem aber so sei, wenn die durch ihn entdeckte Thätigkeit der Metalle genüge, alle hier vorkommenden

Erscheinungen zu erklären, wozu noch länger zu dem Traumgespinnst der thierischen Elektricität seine Zuflucht nehmen, und unnöthigerweise einerlei Wirkung verschiedene Ursachen unterlegen?

---

## §. III.

## Galvani's Entdeckung der Zuckung ohne Metalle.

So war anscheinend die Galvani'sche Lehre ohne Rettung verloren, und in der That, wenn man Volta's Briefe liest, so staunt man über die Herrschaft, welche dieselbe über die Einbildungskraft vieler damaligen Forscher ausüben mufste, dafs sie, bei dieser verzweifelten Sachlage, noch immer Vertheidiger fand. Nicht nur Galvani selbst, der doch auch einst bereits die Vorstellung einer »Elettricità de' metalli« im Sinne gehabt, rüstete sich, wenn gleich im Verborgenen, zum Kampf in seinem anonymen Werke »*dell' uso e dell' attività ec.*«, sondern ihm zur Seite stellte sich vor Allen sein Neffe Giovanni Aldini, der, durch Jenes ärztliche Bemühungen so eben von einem schweren Typhus genesen, wie er selbst erzählt, aus Dankbarkeit alle seine Kräfte der Vertheidigung der Hypothese seines Retters zu widmen gelobt hatte.[1] Man höre ihn, wie er in seinem gepriesenen Latein, im Tone tief verletzter Würde, den Streit um den geliebten Wahn mit der Klage anhebt: »Cum ineunte superiore anno Aca»demia nostra de animalis electricae theoriae incrementis gloriaretur, »tum vero eodem exeunte turbata non nihil fuit infensissimo accusa»tionis genere, quod non unam, alteramve ipsius partem, sed theoriam »labefactaret universam. Si enim a sola metallorum electricitate omnes »sunt contractiones, quam deformata illa est animalis electricitatis spe»cies, quae cum primum in animantium dominari corporibus credere»tur, metallorum nunc mutuatae electricitati, non sine magno dedecore, »famularetur! Audiebam ego vero crebras hujusmodi criminationes, »dum gravissimo vexarer valetudinis discrimine, e quo cum Galvanii »solertia evaserim, statim exarsit animus eundem de suae animalis »electricitatis fortuna efflagitare, eique meam omnem operam, atque »industriam in theoriam suam, quam semper adamaveram, gratus »polliceri. Probatam ille habuit voluntatem nostram, ut propterea, »recreatis viribus, nihil fuerit antiquius, quam tot tantisque dissidiis

[1] Essai théorique et expérimental sur le Galvanisme. Paris 1804. 4°. p. 203.

»exagitatam, ac fere obrutam animalem electricitatem nova opposita »experimentorum conspiratione, animantibus insitam restituere.« [1] Haben wir es indefs dieser Verblendung der Galvanianer zu danken, dafs aus ihren fortgesetzten Bestrebungen sich endlich doch der Grundversuch der thierischen Elektricität gebar, so gebührt auch Volta, seiner etwas übermüthigen Anfeindungen ungeachtet, ein guter Theil des Verdienstes; denn er war es, welcher jenen unklaren Schwärmern das aufwies, was sie zu leisten haben würden, um ihre Meinung aufrecht zu erhalten, und was ihnen zu leisten denn auch schliefslich wirklich gelang. Zunächst nun handelte es sich für sie darum, Zuckungen mit einem wirklich gleichartigen Metallbogen zu erhalten.

Nachdem Aldini Versuche mit einem einzigen silbernen Metallbogen angeführt, wie sie ihm, Galvani und Carradori unzähligemal geglückt, und gefragt hat: »Quod si forte arcum in suis variis partibus scruta»tus heterogeneum suspiceris, quid causae est cur perpetua dubitatione »heterogeneos accuses reliquos innumeros, quibus eadem excitari con»tractio poterat?« [2] kündigt er Versuche mit solchen Bögen an, die der »difficilis chemicus«, die Volta selbst gewifs als völlig gleichartig würde gelten lassen müssen; aus einem flüssigen Metall nämlich, Quecksilber. In eine flache Schale stellt er, auf einem etwas erhöhten Fufs, eine zweite dergleichen mit Quecksilber; ein nach Galvani's Vorschrift zugerichteter Frosch taucht darin mit seinem Stück Wirbelsäule, während seine Füfse in die untere Schale hängen; Aldini öffnet eine Durchbohrung im Grund des oberen Gefäfses, und es entstehen Zuckungen, so wie das niederströmende Metall die Füfse des Präparats erreicht. Dasselbe bewerkstelligte er noch auf einige andere Arten, zuletzt ganz einfach, indem er die thierischen Glieder auf Quecksilber schwimmen liefs, und das Stück Wirbelsäule mittelst eines Fadens bald emporhob, bald auf die metallische Oberfläche zurücksinken liefs. Zusammen mit Galvani, der ihm bei allen diesen Versuchen zur Seite stand, wieder-

[1] Joannis Aldini de animale Electricitate Dissertationes duae. Bononiae 1794. 4°. p. I.* Ins Französische übersetzt im Anhang zum Essai etc. sur le Galvanisme. p. 279. 306.* — Mit Hinzurechnung der der Modener Ausgabe des Commentars vorgedruckten Dissertation sind dies die zweite und dritte Abhandlung Aldini's. Die erste derselben wenigstens scheint noch 1793 geschrieben worden zu sein, da 1792 als superior annus bezeichnet ist. Es ist nicht auszumachen, ob Aldini hier bereits von Volta's erstem Brief an Vassalli Kenntnifs gehabt, oder nicht; jedenfalls war ihm der Grundgedanke desselben bekannt, auch konnte er die »Nuove osservazioni« bereits gelesen haben. Dazu kommt ein lebhafter Privatverkehr, der, allem Anschein nach, damals sämmtliche Sitze italiänischer Wissenschaft in steter Verbindung erhielt.

[2] Ibid., p. IV.*

holte er dieselben mit Erfolg an warmblütigen Thieren, Hühnern und Lämmern. Dies ist Alles, was uns von den vielen in diesen weitläufigen Abhandlungen dargelegten Untersuchungen Aldini's von Wichtigkeit ist. Die übrigen zahlreichen Versuche der ersten derselben gehen darauf hinaus, die unbestimmte Möglichkeit einer von Aufsen hinzukommenden Elektricität und zum Theil eines mechanisch einwirkenden Reizes bei den galvanischen Versuchen von der Hand zu weisen, die der zweiten, die thierische Elektricität mit der gemeinen hinsichtlich ihrer Leiter und Isolatoren zu vergleichen. Man sieht hier deutlich, dafs Aldini, und wohl überhaupt die damaligen Galvanianer, gar keine klare Vorstellung von Volta's Einwürfen gegen ihre Deutungsweise und seiner eigenen Lehre hatten; dafs es ihnen unmöglich war, dem strengen Gange dieses ächten Physikers zu folgen. Während Volta, vermöge seiner Betrachtungen über die scheinbare Gleichartigkeit der Metallbelege, als der Entdecker der Oberflächenveränderungen anzusehen ist, setzt ihm Aldini Versuche mit chemisch reinen Metallmassen entgegen; während, wie wir hier erfahren, Jener, der also auch eigentlich zuerst den Grundversuch der thierischen Elektricität angegeben, Diesen brieflich auffordert, Zuckungen ohne Metalle darzustellen,[1] schliefst Aldini triumphirend seine erste Dissertation mit der Nachricht, dafs allein mit Kohle, also ohne Metalle, die galvanischen Versuche geglückt seien. Während Volta Anfangs noch, neben den entschieden nicht der thierischen Elektricität angehörigen Wirkungen ungleichartiger Bögen, einige Erfahrungen ruhig in dem ersten Sinne gelten läfst, begnügen sich die Galvanianer nicht damit, diese letzte Zuflucht zu vertheidigen, wie sie konnten und durften, sondern sie fahren fort, ihre Hypothese über alle, ja selbst über Volta's eigene und neueste Entdeckungen, auszudehnen, die gröfsere Wirksamkeit ungleichartiger Metallbelege auf den Widerstand zurückführend, den diese Art der Zusammensetzung des Bogens dem Durchgange der thierischen Elektricität entgegenstelle, wodurch eine stärkere Anhäufung und eine kräftigere Entladung derselben bewirkt werde.[2]

Kein günstigeres Urtheil, als über die Aldini'schen Dissertationen, kann, im Vergleich mit Volta's Leistungen, über die Schrift »*dell'*

[1] Ibid., p. XV. * »Clarissimus Volta ut contractionem periclitarer ubi metal»licum nihil adesset, datis humaniter epistolis, invitavit...« — Vergl. den 2. Brief »an Vassalli. Ivi, p. 224 (a). * »Il primo, sfidato in certo modo da me, ha già »più d'un anno, a produrre i soliti effetti delle convulsioni nella rana senza l'inter»vento di metalli, conta vittoria perchè vi è riuscito servendosi, in luogo di questi, »di carbone di legna. Ma che? ec.«

[2] Dissertatio II. p. XL. *

*uso e dell' attività dell' Arco conduttore nei contrazioni de' muscoli*« gefällt werden, welche Galvani aller Wahrscheinlichkeit nach im Sommer 1793 verfafste. Sie erschien im Beginn des darauf folgenden Jahres, gewifs aber später als die »*Dissertationes duae*«, da in diesen weder derselben, noch eines wesentlichen Punktes ihres Inhalts, gedacht ist. Nachdem der anonyme Verfasser die Definition des leitenden Bogens und eine Eintheilung der Bögen nach verschiedenen Eigenschaften gegeben; nachdem er drei Stufen der abnehmenden Reizbarkeit der Thiere nach dem Tode unterschieden und empfohlen hat, sich der mittleren als der am wenigsten Unregelmäfsigkeiten darbietenden zu bedienen, geht er zu den Eigenthümlichkeiten über, die die Anwendung verschiedengearteter Bögen mit sich bringt. Das dritte Kapitel, in der neuen Ausgabe des Instituts von Bologna p. 161, beschäftigt sich mit der »*attività dell' arco omogeneo e di un pezzo solo*«; das vierte (p. 164) mit der »*dell' arco omogeneo composto di più pezzi*«. Der Verfasser verwahrt sich gegen Volta's Behauptung, dafs die Zuckung mit gleichartigem Bogen eine zufällige und aufserordentliche Erscheinung sei; gegen Thouvenel's, dafs sie nur mit Gold und Silber glücke; zwar seien diese Metalle ihrem Zustandekommen am günstigsten (?), allein auch Eisen, Kupfer, Zinn und Blei gäben in abnehmender Reihe bejahende Ergebnisse; Ausdehnung der das Thier berührenden Flächen sei vortheilhaft u. s. w. Auf die Volta'schen Einwürfe in Betreff der Gleichartigkeit ist keine besondere Rücksicht genommen, und durchaus kein principieller Unterschied wird zwischen den Zuckungen mit gleichartigen und ungleichartigen Bögen anerkannt.

Ueber die letzteren hinwegeilend, gelangen wir zu dem achten Kapitel, »*di alcune conseguenze che trar si possono dalle dottrine, e dagli esperimenti proposti*«, und hier nun finden wir, nachdem versucht worden ist, Volta's Theorie durch schwächliche Einwendungen theoretischer Art zu beseitigen, den wirklichen Grundversuch der elektrischen Muskel- und Nervenphysik. Galvani hat den Handschuh aufgenommen, den Volta Aldini zugeworfen; es ist ihm gelungen, Zuckung ohne Dazwischenkunft von Metallen zu erhalten.

Die erste Form des Versuchs ist nicht ganz tadellos: »Aber zu »den Versuchen zu schreiten, man stelle das gewöhnliche Galvani'sche »Präparat dar, tauche die Wirbelsäule mit den anhängenden Nerven in »eine ziemlich gesättigte Seesalzlösung, lasse sie darin, bis sich zit»ternde und unregelmäfsige Bewegungen der Muskeln einstellen; ent»ferne sie dann aus der Flüssigkeit; fasse das Thier an einem Fufse, und »lasse den anderen und das Stück Wirbelsäule nebeneinander frei herab»hängen;.... schwenkt man nun das Präparat hin und her, so dafs

»das Stück Wirbelsäule mit der äufseren seitlichen Fläche des Ober-
»schenkels in Berührung kommt, oder hebt man das erstere mit irgend
»einem immerhin isolirenden Körper auf, und läfst es mit einem-
»male« .... (»tutto ad un tratto«).... »gegen den Schenkel fallen,
»so wird man in beiden Fällen Zuckungen gewahr werden, und im
»Augenblick der Berührung das Bein in die Höhe fliegen sehen, so
»dafs eine Art elektrischen Tanzes« .... (eigentlich Glockenspiels,
cariglione).... »zu Stande kommt, genau wie GALVANI ihn in seinem
»Commentar beschreibt, wobei er das Bein und das mit Stanniol um-
»wickelte Stück Wirbelsäule des Froschs auf eine Silber- oder Queck-
»silberfläche herunterhängen läfst.[1] Manchmal gelingt der Versuch
»auch, indem man das Stück Wirbelsäule auf passende Weise gegen
»die Muskeln, bis zur Berührung derselben hinbewegt, oder mit Hülfe
»des durch die Salzlösung gebildeten Bogens, wenn man, bei ein-
»getauchtem Stück Wirbelsäule nebst Nerven, das Hangbein so zu
»lenken weifs, dafs die Aufsenfläche seines Oberschenkels mit der
»Flüssigkeit in Berührung kommt. Diese Zuckungen erscheinen jedoch
»nicht lange Zeit hindurch nach dem Tode des Thiers, und nach den
»zitternden Bewegungen beim ersten Eintauchen in die Salzlösung.
»Aufser denselben nimmt man übrigens andere wahr, welche von dem
»Einflufs der Salzlösung auf die Nerven herrühren; man unterscheidet
»diese jedoch von jenen ziemlich gut daran, dafs sie selten mit dem
»Augenblick der Berührung von Nerv und Muskel übereinstimmen, und
»selten den Anschein des elektrischen Tanzes gewähren. Nichtsdesto-
»weniger können diese vom Reiz der Salzlösung abhängigen Zuckungen
»den Erfolg zweideutig machen, da es nicht immer ganz leicht sein
»kann, sie von den thierisch-elektrischen zu unterscheiden. Um daher
»jeden Zweifel und jeden Verdacht eines gesuchten Kunstgriffs zu ent-
»fernen, schlagen wir einen anderen ziemlich leichten und einfachen
»Versuch vor, der noch sicherer und überzeugender ist, und uns im
»vergangenen Sommer« .... (1793).... »zu wiederholten Malen in
»Gegenwart gelehrter Physiker geglückt ist: Man schneide die Nerven
»dicht an ihrer Austrittsstelle aus dem Wirbelcanal ab, und ohne sie
»in irgend eine Flüssigkeit zu tauchen, oder sonst einem verändernden
»Einflufs auszusetzen, lasse man sie, wie in dem ersten Versuch, vom
»Becken frei herunterhängen; bringt man sie dann, wie früher, mit
»der Aufsenfläche des Schenkels in Berührung, entweder, indem man
»sie mit einem Nichtleiter aufhebt und dawider fallen läfst, oder indem
»man sie mit demselben sanft dagegen führt, und zwar, wo möglich,

[1] Commentar, p. 82.*

»nur gegen einen einzigen Punkt der Muskeln: so entstehen auf der »Stelle Zuckungen in beiden Beinen, so dafs man das Hangbein, nicht »ohne Verwunderung, in die Höhe fliegen sieht. Dergleichen Zuckun»gen erhält man mehrentheils viermal hintereinander, und auch wohl »öfter, an jedem lebenskräftigen und frisch zugerichteten Frosch; be»ständiger jedoch, wegen der gröfseren Länge der Nerven, an Fröschen »von über mittlerer Gröfse. Der Versuch gelingt auch, wenn gleich »nicht so schön, wenn man nur den einen Nerven gegen das zu»gehörige Bein zurückbiegt, wo begreiflich auch nur dies eine Bein »zuckt.« [1]

Wie man sich leicht denken kann, war dieser glückliche Erfolg wenig geeignet, Galvani und den Seinigen hinsichtlich der Zuckungen mit ungleichartigen Bögen die Augen zu öffnen. Demgemäfs besteht er denn auch in endlosen hypothetischen Erörterungen mit mehr Entschiedenheit denn je auf seiner leidigen Theorie des Muskels als einer Kleist'schen Flasche, und läfst sich sogar dazu verleiten, so schlagende Wahrnehmungen, wie den Volta'schen Zungenversuch, nicht nur in den sich daraus ergebenden unmittelbaren Schlufsfolgen, sondern sogar in seinem Thatbestand, in Abrede zu stellen. [2] Es wäre eine undankbare Mühe, sich mit ihm in diese Irrwege einlassen zu wollen; von gröfserer Wichtigkeit ist die Kenntnifsnahme des »*Supplemento al Trattato dell' uso e dell' attività dell' Arco conduttore nei contrazioni de' muscoli*«, welcher, so viel Gherardi hat ausmachen können, da er nicht nur ohne Namen des Verfassers, sondern sogar ohne Jahreszahl erschien, noch in demselben Jahre 1794 ans Licht trat, aber, wie es scheint, völlig unbekannt blieb. Er bewegt sich gröfstentheils in Abänderungen jenes Grundversuchs ohne Metalle, von denen wir die bedeutendsten hervorheben wollen.

Zuerst läfst er den unteren Extremitäten ihre natürliche Bedeckung, und macht nur einen Hautschnitt über den Muskeln, um den Nerven mit denselben in Berührung bringen zu können. Der Versuch glückt nach wie vor. Dann läfst er den Nerven, statt auf den Schenkel, mit gleich glücklichem Erfolge auf den durch Verlängerung des Hautschnitts entblöfsten »muscolo solare«, unstreitig den Gastroknemius,

[1] Dell' uso e dell' attività ec. p. 210. 211. 212. * Es hat, seltsamer Weise, über der Herkunft dieses wichtigen Versuches stets ein Dunkel geschwebt, welches wohl daher rührte, dafs das vorliegende Werk sich sehr wenig verbreitete und zudem anonym erschien. Dann aber hat Aldini, trotz der kindlichen Verehrung, die er überall für seinen Oheim zur Schau trägt, nach dessen Tode hier ein falsches Spiel gespielt, welches später aufgedeckt werden wird.

[2] Ivi, p. 235. 236. *

fallen, oder bringt ihn auch nur leise damit in Berührung. Die Art, wie der Verfasser diesen letzten Versuch anstellt, ist völlig dieselbe, die noch jetzt gäng und gebe ist: Er richtet den Ischiadicus bis zur Kniekehle frei zu, legt in dieselbe ein Glasplättchen, damit der Nerv beim Umbeugen nicht mit den zunächst befindlichen Theilen des Beins in Berührung komme, worunter die Sicherheit des Erfolges leiden könnte, nimmt den Nerven mit einem Glas- oder Harzstäbchen auf, und läfst ihn entweder, indem er dieses unter demselben fortzieht, auf den Muskel fallen, oder bringt beide gemächlich zur gegenseitigen Berührung. Auf dieselbe Art erhielt Galvani Zuckungen, indem er den Nerven des nicht enthäuteten Präparats auf ein Stück Bauchmuskel fallen liefs, welches, auf einer Glasplatte ruhend, sonst in keiner Verbindung mit dem Frosche stand. Mit dem enthäuteten Thiere war dies früher nicht geglückt.[1] Der Verdacht auf einen mechanischen Reiz durch die Erschütterung beim Fallenlassen ward entfernt, indem ähnliches Hinwerfen des Nerven auf Glas, Schwefel oder Marmor sich unwirksam erwies. Hingegen das gleiche Fallenlassen auf Metallplatten (Kupfer, Silber, Quecksilber) brachte Zuckungen hervor, so dafs Galvani der Erstbesitz dieser scheinbaren Versuche ohne Kettenverband gebührt, in denen, nach seinem Ausdruck, ein »arco occulto« im Spiel ist. Isolirende Substanzen, Oel, Firnifs, Glas, bei den obigen Versuchen zwischen Nerv und Muskel gebracht, hemmen die Zusammenziehung. Nur äufserst selten erscheinen Zuckungen, wenn man, anstatt das Galvani'sche Präparat darzustellen, oder die Nerven völlig von der Wirbelsäule abzuschneiden, dieselben blofs freigelegt hat, und sie so mit den Muskeln in Berührung bringt. Dieser Umstand ward auch bei den Versuchen mit Metallen ohne Kette gültig befunden. Viel kräftiger übrigens seien stets die Zuckungen, die man durch Umbeugen des Nerven gegen den zugehörigen Muskel erhalte, als die sich beim Fallenlassen auf ein fremdes Stück Muskel ergeben; daher man in diesem Falle des Kunstgriffs des Hinwerfens nicht entbehren könne, während in jenem die leiseste Berührung ausreichend sei. So sehe man noch Zuckungen beim Umbiegen gegen den Schenkel erfolgen, wenn der fremde Muskel bereits unwirksam geworden sei; lege man ihn aber auf den Schenkel, so dafs er die Verbindung zwischen dem Nerven und seinen angehörigen Muskeln vermittelt, so kämen die Zuckungen wieder zum Vorschein. Zu allen diesen Versuchen müsse man grofse und kräftige Frösche, mit guter Musculatur, auswählen, und im Sommer erst die Nerven, und dann die Muskeln präpariren, weil die

[1] Dell' uso e dell' attività ec. p. 216.

Oberfläche dieser letzteren schnell vertrockne. Von der Leistungsfähigkeit des Thieres hänge denn auch das Verfahren ab, welches man zu befolgen habe, um die Zuckungen zu erhalten, ob man nämlich mit der bloſsen Berührung auskomme, oder ob man zum Fallenlassen seine Zuflucht nehmen müsse. Bei rüstigen Individuen werde auch die Oeffnungszuckung im Augenblick der Trennung von Nerv und Muskel beobachtet. Auf alle Fälle, und wie kräftig auch das Thier sei, müsse der Versuch sogleich nach dem Tode und der Zurichtung angestellt werden; bei dieser habe man sich zu hüten, nicht beim Abziehen der Haut die Muskeln zu verletzen, indem sonst nur schwache und seltene Zuckungen erfolgten, sei's, weil der Bau der Muskelfaser beeinträchtigt worden, sei's, weil dadurch das dem Nerven gleich elektrisirte Innere des Muskels, gleichsam die innere Belegung der Kleist'schen Flasche, blosgelegt werde.

---

## §. IV.

## Volta's Einwürfe wider die Zuckung ohne Metalle.

Jetzt konnte es scheinen, als sei an Volta die Reihe der Bedrängniſs gekommen. Allein die Galvanianer, die schon ein voreiliges Siegsgeschrei erhoben, unter ihnen, nach Volta's Aeuſserungen[1] zu urtheilen, insbesondere Valli, hatten einigermaſsen ihre Rechnung ohne den Wirth gemacht. Das Reich der Metallelektricität, um in einem Dove'schen Gleichniſs zu reden, war nicht so leicht gefährdet: denn seine Verfassung besaſs »Elasticität genug, um neue Elemente in sich auf»zunehmen, und eine hinlänglich befestigte Grundlage, um nicht von »ihnen überwältigt zu werden.« Zuerst nun erschien Volta's zweiter Brief an Vassalli, geschrieben im Frühjahr 1794,[2] unstreitig vor der Bekanntmachung des »*Supplemento al Trattato ec.*«, ein um so vollendeteres Meisterwerk wissenschaftlicher Beredsamkeit vielleicht gerade deshalb, weil Volta doch einen Augenblick den Thatsachen gegenüber rathlos dastehen mochte. Im Texte legt er, gleichsam mit Sonnenklarheit, die Erfahrungen in seinem Sinne, seine Lehre und die gränzenlose Verwirrtheit der Gegenpartei dar; in einigen Anmerkungen bekämpft er, fast nur nebenher, aber mit grimmiger Schärfe, Aldini's

[1] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. p. 243. p. II. p. 35.* »Nelle sperienze »prodotte con tanta aria di trionfo dai Galvaniani, e singolarmente dal Dr. Valli ....«

[2] Dritter Brief an Vassalli. Ivi, p. 244.*

Behauptungen in seinen beiden Dissertationen, und den anonymen Verfasser des »*Trattato dell' uso ec.*« Was die Quecksilberversuche betrifft, in denen der »schwierige Chemist« keine Ungleichartigkeit mehr entdecken sollte: »Dirò dunque« — sagt er — »che il difficile Chimico, »sfidato da lui a trovar differenza tra parte e parte dello stesso mer»curio rettificato, con tutti i presidj dell' arte, pur troppo la »ritrova, e ben grande tra le parti interne e le superficiali, che all' »aria tosto perdono il lustro, e soffrono un principio di calcinazione, »massime venendo agitate: e cos' è infatti quella polvere, che si forma, »e in breve cuopre il liquido e vivo mercurio? Qual meraviglia per»tanto, se le gambe della rana preparata toccando la superficie sola »del mercurio, e il pezzo di spina dorsale immergendosi più profon»damente, come è il caso nelle sperienze ivi descritte, se, dico, a »cagione dell' accennata differenza, dello stato cioè diverso del mer»curio ne' due luoghi, trovandosi esso assai più vivo nell' interno, »che alla superficie, ne nascono le contrazioni muscolari? Non aveva »io già provato, e detto nella lettera precedente, che si eccitano esse »anche col contatto di due pezzi della stessa lastra di piombo, uno »dei quali sia reso lucido quale specchio, l'altro offuscato e semical»cinato all' aria? Il mercurio adunque, che Aldini presceglie come il »più sicuro, è anzi il più sospetto ed infedele.« [1] Dazu kommen in Aldini's Versuchen die Ungleichheit der Berührungsweise an beiden Punkten, Wirbelsäule und Füfsen, ferner der niemals ganz vermiedene Anschlag des flüssigen Metalls gegen die thierischen Theile. Er seinerseits könne versichern, dafs zwei Stücke gleichen Silberdrahtes, in Wirbelsäule und Schenkel eines völlig leistungsfähigen Präparats eingespiefst, und später mit einander in Berührung gebracht, niemals Zuckung bewirkten. Und dasselbe zeige sich, wenn man Füfse und Wirbelsäule auf zwei aus einem Blech geschnittene Stücke Gold oder Silber lege, und diese hernach mit einander in Berührung bringe; er stehe dafür, dafs keine Zuckung, wenn nicht einmal durch Zufall, zum Vorschein kommen werde: während mit ungleichartigen Metallen in tausend und aber tausend Versuchen an einem und demselben Frosch die heftigsten Zuckungen auch nicht einmal ausblieben, um so seltener, je entfernter von einander sich die Metalle in der schon früher von ihm angegebenen Spannungsreihe befänden. Während seine Theorie im Stande sei, von allen diesen Vorkommnissen auf das einfachste Rechenschaft abzulegen, sähe man die Galvanianer, in ihren eigenen Schlingen gefangen, sich auf das gewaltsamste winden, um seine Entdeckungen in den Kreis

[1] Ivi, p. 216. Nota.

ihrer Irrlehre hineinzuzwängen. Sie möchten ihm, zur Probe, folgenden Versuch auslegen: Unter die Wirbelsäule eines zugerichteten Frosches wird ein Silberstreifen gelegt, und unter entsprechende Stellen beider Beine ein gleicher Streifen und ein solcher von Zink; denn schon hatte er die ausgezeichnete Positivität dieses Metalles erkannt und es an die Stelle des bisher üblichen Zinns gesetzt. Nun erwarte Jeder, dem das Bild von Galvani's Kleist'scher Flasche in Nerv und Muskel vorschwebe, dafs Verbindung beider Silberstreifen Zuckung, beider ungleichartigen Metalle keine Zuckung erzeugen werde: mit nichten! gerade der entgegengesetzte Erfolg gebe sich kund. »Or come và colla vostra Elet»tricità animale, colla vostra boccia di Leyden?« ruft er höhnend aus: »Forzerete la spiegazione fino a supporre una carica, ed una tendenza »alla scarica tra muscolo e muscolo, tra due muscoli omologhi?.... »Eh! non v'ingolfate in ispiegazioni sempre più involte di difficoltà, e »che riuscirebbero tutte, se non assurde, affatto inverisimili; e conchiu»dete meco piuttosto che se dunque con metalli simili applicati a parti »animali dissimili non si ottengono gli effetti, e si ottengono in vece »con metalli dissimili applicati a parti animali affatto simili, il giuoco »è tutto dei metalli!« [1]

Doch es ist unmöglich, einen Begriff von der Gewalt dieser Volta'schen Polemik zu geben, die so hinreifsend ist, dafs der Geschichtschreiber der thierischen Elektricität selbst sich eines unwillkürlichen Hinneigens zur Partei der Metalle zu erwehren hat. Nun fällt er mit bitterem Scherz über Aldini's Mifsverständnifs in Betreff der Zuckungen ohne Metalle her, der diese Aufgabe mit Kohle lösen zu können glaubte, mit Kohle, die Volta selbst ihm als negativste Bewaffnung bezeichnet hatte! Aber minder glücklich sehen wir ihn vor den Versuchen des anonymen Verfassers des »*Trattato dell' uso ec.*« bestehen, der die Herausforderung richtiger aufgefafst und zu gutem Ende geführt hatte. Er kann nicht läugnen, dafs es auch ihm gelungen, auf die angegebene Art, durch Anschwenken des Stückes Wirbelsäule gegen das eine niederhängende Bein des am andern gehaltenen zugerichteten Frosches Zuckungen zu erregen: wenngleich nur äufserst schwach und in seltenen Fällen höchster Leistungsfähigkeit, nicht zu vergleichen den durch ungleichartige Metalle entstehenden mächtigen Zusammenziehungen. Und er entschliefst sich kurz und gut, die unbequeme Thatsache für die Folge eines mechanischen Reizes auszugeben, einer Zerrung, der die dann so höchst empfindlichen Nerven bei den verschiedenen Kunstgriffen ausgesetzt würden, die zum Gelingen des

[1] Ivi, p. 221. Nota.

Versuchs nöthig seien. Aeufserst listig setzt er hinzu, dafs dies zwar auf den Fall nicht zu passen scheine, wo man den Nerven leise zur Berührung der Schenkelmuskeln führt: dafs aber, wenn man recht Acht gebe, einsichtlich werde, wie die Nerven doch stets einer Art von Erschütterung ausgesetzt wären, indem sie, sobald die sie umgebende Flüssigkeit sich mit der der Muskeln vereint, durch capillare Kräfte rasch dawider angezogen würden.[1] »Conchiudiam dunque, che nulla »provano codeste vantate sperienze, le quali lasciano tanto sospetto di »stimolo meccanico.«[2] Entscheidend könnten nur Versuche sein, wie er selbst sie angestellt habe, wo Wirbelsäule und Füfse unbewegt in zweien getrennten Bechern Wassers ruhten, und zwischen diesen mit einem leitenden, nicht metallischen Bogen geschlossen würde; mit einer Schnur, einem Stück Holz oder Pappe, die von Wasser trieften, zweien Fingern einer Hand, oder beiden Händen: in diesem Falle entständen niemals Zuckungen.[3] Und Volta schliefst, indem er fortdauernd und zu wiederholten Malen die Möglichkeit in Abrede stellt, Zuckungen ohne Metalle oder die ihnen gleichstehende Kohle zu erhalten.[4]

Hier nun war er, wie er selbst später freimüthig eingesteht, zu weit gegangen. Inzwischen erschien, im Herbste 1794, Eusebio Valli's mir leider nicht zugänglich gewordener elfter Brief über die thierische Elektricität, worin dieselbe wieder hoch auf den Schild erhoben wurde;[5] auch der Nachtrag zum »*Trattato dell' uso ec.*« scheint, wenigstens in engeren Kreisen, seine Wirkung nicht verfehlt zu haben, obschon Volta seiner nicht besonders erwähnt: genug, es trat, trotz des Letzteren Anstrengungen, eine entschiedene Reaction zu Gunsten der Galvani'schen Lehre ein. Allein er selbst schritt mittlerweile in seinem eigenen Sinne unbekümmert und unaufhaltsam fort, und so eröffnete sich ihm bald eine neue Aussicht, den in Rede stehenden Versuch dem noch biegsamen Wuchse seiner elektromotorischen Theorie einzuverleiben. Der dritte Brief an Vassalli, von Como am 24. October 1795

[1] Galvani hat später, in seinem ersten Briefe an Spallanzani (Opere edite ed inedite ec. p. 312*), die Vermuthung geäufsert, dafs diese Anziehung nicht capillar, sondern elektrisch sein möchte. Unstreitig ist es dieselbe Erscheinung, welche Aldini zehn Jahre später in Oxford und London, ohne Galvani's Erwähnung zu thun, für ein thierisch-elektrisches Anziehungsphänomen ausgab. Essai etc. sur le Galvanisme. p. 8. 9.* — S. unten, §. VII.

[2] Collezione dell' Opere ec. p. 228. Nota.*

[3] Ivi, e p. 222.*

[4] Ivi, p. 215—220. 224—228. 229. Nota.*

[5] Dritter Brief an Vassalli. Ivi, p. 232. 243.* — Vergl. Galvani's ersten Brief an Spallanzani. Opere edite ed inedite ec. p. 314. 315.*

gezeichnet, hat vornehmlich dies zum Zweck. [1] Ein vierter, über denselben Gegenstand, vom Winter 1795—1796, ist leider auch in Italien nie erschienen, und dürfte, ein beklagenswerther Verlust, für uns verloren gegangen sein. [2] Den damaligen Stand seiner Untersuchungen lehrt uns vorzugsweise eine Reihe von Anmerkungen zu jenem dritten Briefe kennen. Die Spannungsreihe ist bereits über eine grofse Anzahl von Metallen und Erzen ausgedehnt; die Richtung, in der die Metalle die Elektricität bewegen, hat er durch den Vergleich der Geschmacksempfindungen am positiven und negativen Leiter der Elektrisirmaschine entdeckt. [3] Der wichtige Unterschied zwischen den Leitern erster Klasse (Metalle, Erze, Kohle) und denen zweiter Klasse, oder den feuchten Leitern, ist ihm mehr und mehr klar geworden, und schon ist er im Stande, sein Gesetz der elektromotorischen Wirkung folgendermafsen auszusprechen: »Ogniqualvolta due de tai conduttori e insiem motori »di 1a. classe, diversi di specie, combaciando un di quà l'altro di là »de' conduttori umidi o di 2a. classe continui, communicano anche fra »loro, o immediatamente, o per mezzo d'altri anch' essi di 1a. classe, »e compiesi così il circolo; ogniqualvolta, dico, han luogo queste »condizioni, il fluido elettrico viene smosso e tratto in giro nella dire»zione, che va da quello di detta 1a. classe, che è superiore nella »disegnata tavola, all' altro inferiore, attraversando il conduttore, o »conduttori di 2a. classe interposti, rifluendo indi in quel primo, e pro-

[1] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. II. p. 36.*

[2] Ich höre indefs so eben, dafs eine neue und vollständigere Gesammtausgabe von Volta's Werken in Florenz vorbereitet wird; hoffen wir, dafs alsdann, neben andern, auch dieses wichtige Denkmal wiederum ans Licht gezogen werde.

[3] Zweiter Brief an Vassalli. Ivi, p. 208.* — Zweiter Brief an Gren. Ivi, t. II. p. II. p. 43. Nota (a).* — Einer späteren nach seiner Entdeckung der Elektricität durch Berührung ungleichartiger Metalle am Condensator fallenden Angabe gemäfs (Zweiter Brief an Aldini, gezeichnet Como, im April 1798. In Ritter's Beiträgen zur näheren Kenntnifs des Galvanismus und der Resultate seiner Untersuchung. Bd. II. Stück 3. 4. Jena 1805. S. 43.*) hätte Volta sich bei der Bestimmung des positiven und negativen Endes der Spannungsreihe noch durch folgenden Umstand leiten lassen. Er erinnerte sich des Versuchs mit der schwachgeladenen Kleist'schen Flasche (S. oben S. 52), welche bald in der einen, bald in der andern Richtung durch den Frosch entladen, nur dann Zuckung bewirkte, wenn die positive Elektricität von den Nerven zu den Muskeln ging, nicht, wenn sie den umgekehrten Weg einschlug. Nun fand er, dafs bei Zink am Nerven, Silber am Muskel, die Zuckung stärker erfolgte, als bei der entgegengesetzten Anordnung, wo sich oft nur eine Trennungszuckung zeigte, welche letztere er einem Anprallen des stetigen Stromes an das Ende des eben geöffneten Bogens zuschrieb. So kam er dazu, zu behaupten, dafs der Strom in dem ersten Falle vom Kopfe zu den Füfsen, in dem zweiten von den Füfsen nach dem Kopfe geflossen sei. S. unten, 2. Abschn. Kap. II. §. III.

»seguendo una tal circolazione, finchè non s'interrompe il circolo in »alcun luogo: la qual corrente è tanto più forte, quanto i due con»duttori di 1a. classe sono più diversi, ossia distano più gradi un dall' »altro nella tavola o scala sovraesposta.« [1] Dies Gesetz, fügt er indefs hinzu, werde alsbald noch eine Erweiterung erfahren, mit Bezug nämlich auf die damit in Einklang zu bringenden Zuckungen ohne Metalle.

Jetzt also nimmt er seine Behauptung hinsichtlich der Unmöglichkeit solcher Zuckungen, und die mechanische Erklärung derselben, mit der er selbst auch nie recht zufrieden gewesen sei, ausdrücklich zurück. [2] Der Hauptversuch, mit welchem VALLI, und die Galvanianer insgesammt (»vecchi e nuovi«), ihn besiegt und endlich zum Schweigen gebracht zu haben wähnten, sei folgender: Man biege ein Bein des zugerichteten Frosches gegen die Ischiadnerven oder die Rückenmuskeln zurück, und sehe Zuckung entstehen. Oder man halte den Frosch mit einer Hand an beiden Füfsen, und berühre die Nerven oder das Stück Wirbelsäule mit einem Finger der andern Hand, oder der Zunge; oder endlich man halte den Frosch an einem Bein, lasse das Stück Wirbelsäule oder den Rumpf, der nur noch an den Ischiadnerven hängt, in ein Gefäfs mit Wasser tauchen, und bringe das andere Bein mit der Flüssigkeit in Berührung; der Erfolg ist der nämliche. Dazu kämen die Methoden des anonymen Verfassers des »*Trattato dell' uso ec.*« Man könne sich demnach veranlafst fühlen — was in der That das Richtige gewesen wäre — auf den Standpunkt zurückzukehren, auf dem er sich im Sommer 1792 befunden, und der in seinen Briefen an TOMMASELLI, VAN MARUM und CAVALLO dargelegt sei: nämlich einen Theil der Erscheinungen auf Rechnung der Metalle bringen, und die Zuckungen mit gleichartigen Bögen und ohne Metalle, oder vielmehr Leiter erster Klasse, von einer wirklichen, ächten, den thierischen Gliedern eingebornen Elektricität herleiten. Allein warum, wird abermals gefragt (S. oben S. 59), ohne Noth einerlei Wirkung verschiedene Ursachen unterlegen? Und dafs dies auch jetzt noch ohne Noth geschehen würde, dafs seine Grundsätze hinreichten, um auch diese, scheinbar davon abweichenden Erfolge zu deuten, macht er sich zu beweisen anheischig, wie er dieses schon in einem im Winter 1794 — 95 an BANKS (in London) geschriebenen Brief gethan habe. [3]

[1] Dritter Brief. Ivi, p. 238. 239. Nota.*

[2] Ivi, p. 241. Nota (a). — p. 255. Nota (a).*

[3] Dieser Brief ist, wenigstens in den Philosophical Transactions, nicht gedruckt erschienen. Es ist wahrscheinlich derselbe, den VOLTA im Sommer darauf v. HUMBOLDT in Como vorlas und wovon sich in dem Werke: »Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w.« Bd. I. S. 369* ein kurzer Abrifs findet.

Er besteht zunächst auf die grofse Unzuverlässigkeit der Erscheinung, die nur in den allergünstigsten Fällen zum Vorschein komme, und stellt dann für den guten Erfolg derselben folgende Bedingungen hin: erstens, dafs der Körper des Frosches nicht rein sei, wie er durch Abwaschen mit Wasser erhalten werde, sondern mit Blut oder sonst einer anderen mehr oder weniger zähen Flüssigkeit besudelt; was auch Valli selbst bemerkt habe. Blieben die Zuckungen aus, so genüge es daher, um sie zu erzeugen, die Theile, welche zur Berührung gebracht werden sollen, mit Speichel, wie auch schon Valli angegeben, mit Salzwasser, wie es im »*Trattato dell' uso ec.*« zu lesen sei, endlich mit Harn, Schleim, verschiedenen Pflanzensäften, besser mit Seifenwasser, und am besten mit stark sauren oder alkalischen Flüssigkeiten zu benetzen, wie er selbst es bei den zahllosen Abänderungen entdeckt, die er mit jenen Versuchen vorgenommen. Das zweite Erfordernifs sei, dafs die Berührung mit den blosgelegten Ischiadnerven, oder Muskeln des Rumpfes, nicht an einer beliebigen Stelle des Beines, sondern an der Achillessehne geschehe.[1] Man könne, so viel man wolle, die Muskeln des Oberschenkels, ja den Gastroknemius selbst, so weit er rothes Fleisch zeige, gegen die mit Blut, irgend einer zähen oder salzigen Flüssigkeit verunreinigten Rückenmuskeln zurückbeugen: es erfolge keine Zuckung, die sich erst einstelle, wenn man den Theil des Muskels

[1] Dieser letzteren Bemerkung Volta's liegt so sehr etwas Richtiges zu Grunde, dafs ich selbst, nach so langer Zeit, ohne davon Kenntnifs zu haben, nachdem ich das Gesetz des Muskelstromes entdeckt hatte, durch theoretische Betrachtung a priori wieder darauf geführt werden konnte. Vorläufiger Abrifs einer Untersuchung über den Froschstrom und die elektromotorischen Fische. Poggendorff's Annalen u. s. w. Januar 1843. Bd. LVIII. S. 6. §. 18. — Vergl. unten, 3. Abschn., Kap. II. §. III. — Volta's eigene Worte in Betreff dieses wichtigen Gegenstandes sind folgende: »2°. Che il contatto de' nudi nervi ischiatici, o de' nudi muscoli del tronco si facia, non da qualsisia parte della gamba, ma dal tendine in cui termina il muscolo grosso di essa gamba, ossia il gastrocnemio; il qual tendine o ligamento passando sopra l'articolazione del piede si prolunga fino alle estreme dita e salta all' occhio pel suo colore bianco e di un lucido argenteo o piuttosto di perla. È cosa veramente curiosa il vedere come adducendo al contatto dei muscoli dorsali, anche intrisi di sangue, o di altro umore viscido o salino, i muscoli delle coscie, niente succede; e niente pure facendo a quelli combaciare l'istesso muscolo gastrocnemio al di sopra della sua metà, cioè per tutta quella parte ch'esso si mostra puramente carnoso e rossiccio; e che all' incontro facendolo toccare al di sotto, cioè per la parte in cui il muscolo medesimo degenera in sostanza tendinosa e comincia a presentare l'anzidetta superficie lucida e bianca, nascono le convulsioni. Convien dunque imprimere sopra i muscoli del tronco, o sopra i nervi ischiatici l'estremità di detto muscolo gastrocnemio, o l'articolazione del piede, o il resto ove compare a nudo il gran tendine, cioè portare al combaciamento qualche punto di quel lungo tratto bianco, e non altrimenti, se ottener si vogliono le convulsioni.« Ivi, p. 256.

zur Berührung bringe, wo er sich an die silberglänzende Ausbreitung jener Sehne anzuheften beginnt. Eben so wenig aber erhielte man, bei Berücksichtigung dieses Umstandes, die Zuckung, wenn die erste Bedingung der zwischen Nerv oder Muskeln des Rumpfes und Achillessehne befindlichen zähen oder salzigen Flüssigkeit unerfüllt geblieben sei. Wasche man daher den Frosch mit Wasser rein ab, so bleibe alles Umbeugen vergeblich, und wenn man dennoch eine vereinzelte Zuckung erhalte, so fände dies nach einer zweiten, mit verdoppelter, vorzüglich auf den Rücken und die Schnittränder der Muskeln gerichteten Sorgfalt angestellten Waschung gewifs nicht mehr statt.

Abstract aufgefafst, kommen nun in Volta's Sinne diese beiden Bedingungen, deren blofses Vorhandensein bereits die Schlufsfolge der Galvanianer aus diesem Versuch auf eine der Kleist'schen Flasche ähnliche Anordnung in Nerv und Muskel zu vernichten hinreiche, darauf zurück, dafs zwei einander ungleichartige thierische Theile, mit Dazwischenkunft eines dritten ungleichartigen Leiters zweiter Klasse, zur Kette vereinigt werden. Die einzige Bedeutung, die man diesem Erfordernifs unterlegen könne, sei die der immerhin wunderbaren Kraft der Leiter, auf welche aber alle Thatsachen hindrängten, bei Zusammenstellung mehrerer solcher von ungleichartiger Beschaffenheit nach einem gewissen Schema, die elektrische Flüssigkeit zu bewegen. »Vol»gete e rivolgete la cosa in tutti gli aspetti, quest' è l'unica maniera »di spiegare tali sperienze, ed infinite altre, che si riducono tutte al »medesimo principio, come farò vedere.« [1] Aber wie? sollten auch die Leiter zweiter Klasse, gleich denen der ersten, gleich Metall, Erz und Kohle, mit der elektromotorischen Fähigkeit begabt sein? Nun ja, freilich: nur in ungleich geringerem Grade, wie sie denn auch an Leitungsvermögen jenen so aufserordentlich nachständen. Dies habe er schon im Sommer 1792 in seinen Briefen an Tommaselli und van Marum vermuthungsweise ausgesprochen, seitdem aber, bis zu diesen neuen Erfahrungen, wohl zu sehr aufser Acht gelassen. Jetzt sei daher das oben hingestellte allgemeine elektromotorische Gesetz dahin zu erweitern, dafs es einfach heifse: »Il fluido elettrico è messo in cor»rente ..... ogniqualvolta uno o più conduttori continui di questa »2a. classe s'interpongono a due diversi e tra loro, e col corpo che »combaciano.« [2]

Dieser Ausdruck schliefst, wie man sieht, die Anordnung nicht aus, wo ein Metall mit zweien ungleichartigen feuchten Leitern zur

[1] Ivi, p. 259.

[2] Ivi, p. 267.

Kette zusammengestellt ist, und in der That war es Volta bereits im Herbste 1794 geglückt, [1] die Wirksamkeit auch dieser Combination zu erweisen, wovon insbesondere der erste Brief an Gren in Halle, gezeichnet Como am 1. August 1796, handelt, indem sich übrigens jenes allgemeine Gesetz noch strenger nach allen Richtungen erörtert und durch schematische Abbildungen erläutert findet. Taucht ein Frosch von mittlerer Leistungsfähigkeit mit Kopf und Füfsen in zwei Gefäfse mit Flüssigkeit, und man verbindet dieselben durch einen gleichartigen Metallbogen, so bleibt Alles in Ruhe; wird aber jetzt das eine Ende des Bogens mit einer anderen als der in den Gefäfsen befindlichen Flüssigkeit bestrichen und der Versuch wiederholt, so tritt alsbald Zuckung ein; wird nun auch das andere Ende auf ähnliche Weise verändert, so bleibt sie wiederum aus, kehrt zurück, wenn das erste Ende gereinigt, und verschwindet abermals, wenn endlich auch das zweite wieder in seinen natürlichen Zustand versetzt wird. Volta theilt eine lange Rangordnung der Flüssigkeiten nach ihrer Wirksamkeit in dieser Beziehung mit, wobei jedoch erinnert wird, dafs bestimmte Flüssigkeiten bestimmten Metallen gegenüber ein ausgezeichnetes Verhalten zeigen. [2] Dann kommt er nochmals auf den Versuch ohne Metalle zurück, und schematisirt ihn den obigen Behauptungen gemäfs dergestalt, dafs in ihm eine Kette aus den drei ungleichartigen Körpern, Muskelfleisch oder Nerv, Sehne, und Blut oder einer andern zähen, seifenartigen oder salzigen Flüssigkeit an der Berührungsstelle beider wirksam gedacht wird. Er lehrt den Versuch so anstellen, dafs man die Achillessehne mit den Rumpfmuskeln durch Streifen Schwamm oder Fliefspapier in Verbindung setzt, die mit einer salzigen oder alkalischen Flüssigkeit getränkt sind; indem man den Rumpf des Frosches in ein Gefäfs mit Wasser taucht, und die mit Salzlösung benetzte Achillessehne des einen oder andern Beines mit diesem Wasser in Berührung bringt; oder Rumpf und Füfse in zwei Gefäfse mit Wasser taucht, und zwischen denselben mit zweien Fingern einer Hand schliefst, deren einer mit Salzlösung oder alkalischer Flüssigkeit bestrichen ist; oder endlich, indem man sich statt der Finger eines Streifens frischen Fleisches, oder einer starken hinreichend feuchten Sehne eines Thieres,

[1] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. II. Sull' Elettricità eccitata dal contatto de' conduttori dissimili. Lettere tre dirette al Professor Gren di Halla. p. 17. " — Deutsch in Gren's Neuem Journal der Physik. 1797. Bd. IV. S. 107. " — Vollständig in J. W. Ritter's Beiträgen zur näheren Kenntnifs des Galvanismus und der Resultate seiner Untersuchung. Bd. I. 3. und 4. Stück. Jena 1802. S. 1 ff. "

[2] Ivi, p. 17—34. " — Vergl. v. Humboldt's Brief an Blumenbach, Mailand 26. August 1795, in Gren's Neuem Journal der Physik. 1795. Bd. II. S. 471. "

einer Scheibe von einem Apfel oder einer anderen Frucht, eines Schnittes Polenta, hartgekochten Eiweifses, Käse u. s. w. bedient, deren eines Ende, wohlverstanden, immer mit der salzigen oder alkalischen Flüssigkeit zu versehen ist. »Ecco in che consiste« — schliefst er — »tutto il »secreto, tutta la magìa del Galvanismo. Ella è semplicemente un' »elettricità artificiale, che vi giuoca mossa dai contatti di conduttori »diversi. Sono questi che propriamente agiscono i veri originarj mo»torì: nè tal virtù compete a soli metalli, o conduttori di prima »classe, come avrebbe forse potuto credersi, ma a tutti generalmente, »più o meno, secondo la varia lor natura e bontà, e però in qualche »grado anche ai conduttori umidi, o di seconda classe .... Abbandon»nate questi principj o perdeteli di vista, e non troverete più in questo »sì vasto campo di sperimenti, che incertezze, contraddizioni, anomalìe »senza fine, e tutto vi diverrà un enigma inesplicabile.« [1]

---

## §. V.

## Abwehr der neuen Volta'schen Verdächtigungen durch von Humboldt und Galvani.

So schwankte der Sieg hin und wieder. Durch eine leichte Wendung des beispiellos gewandten Gegners schien der glänzende Vortheil, den die thierische Elektricität kaum errungen, ihr nicht nur wiederum entrissen, sondern sogar zu dessen Gunsten verkehrt zu sein. Bedenklicher hatte es nie um sie gestanden. Da sollte ihr, von diesseits der Alpen hinüber, eine unerwartete Hülfe zu Theil werden. In jugendlichster Fülle eines glänzenden Talents, gleich einem Dichter beredt und begeistert, und doch dem Naturverständnifs mit allen Sinnen hingegeben, sein Wissen schon damals ein Spiegelbild des »Kosmos«, und nichtsdestoweniger unermüdlich im eigenen Anschauen und Erfahren, sehen wir einen neuen Kämpfer in den Ring hinabsteigen. Eh' ich ihn ausspreche, hat Jeder mit Ehrfurcht den Namen Alexander von Humboldt's genannt, dessen Erscheinen auf diesem Gebiete stets als ausschlaggebend für die Sache einer thierischen, ohne weitere experimentelle Zuthat aus den Gliedmafsen sich entwickelnden Elektricität betrachtet worden ist. Im Herbste 1792 in Wien mit Galvani's Entdeckung bekannt geworden, hatte er seitdem, als Bergmann, als Geolog, als

[1] Ivi, p. 34—40. — Vergl. v. Humboldt, ebendas., S. 473.

Botaniker, als Physiker, Deutschland nach allen Richtungen durchschneidend, »auf öden und entlegenen Gebirgen umherziehend, die ihn »oft von allem litterarischen Verkehr abschnitten«, bereits den Entwurf seiner grofsen Tropenreise in sich bewegend, doch Zeit gefunden, eine unabsehbare Reihe der feinsten Reizversuche anzustellen. Selbst zu Pferde verliefs ihn, neben Hammer, Lupe und Compafs, »der Galva»nische Apparat, ein Paar Metallstäbe, Pincetten, Glastafeln und ana»tomische Messer« nie, und der Fluch, den der Anatom von Bologna mit erneuerter Kraft auf das unglückliche Geschlecht der Batrachier herabbeschworen hatte, ereilte es durch von Humboldt's Hand jetzt auch an Orten, an denen es sich für immer hätte gesichert halten können.

Die Kunde von der Zuckung ohne Metalle erhielt v. Humboldt erst auf Volta's Landsitze zu Como durch diesen Physiker selbst im Sommer 1795, und gab der Deutschen Gelehrtenwelt die erste Nachricht davon in seinem oben bereits angeführten Brief an Blumenbach in dem 2. Bande von Gren's *Neuem Journal der Physik.* Sehr bald zeigten ihm seine eigenen Wiederholungen des Versuchs, dafs etwas Schiefes in Jenes Behauptungen liege. Der zweite Abschnitt des berühmten Werkes »*Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser nebst Vermuthungen über den chemischen Procefs des Lebens in der Thier- und Pflanzenwelt*« (Posen und Berlin 1797) ist der Wiederherstellung der verzerrten Erscheinung in ihre wesentliche und wichtige Form gewidmet. Zunächst wird jeder Verdacht einer mechanischen Reizung ausgeschlossen. »Oft schob ich blofs in einer hori»zontalen Fläche den Froschschenkel gegen das Ende der oberen »Extremität, und die Convulsionen waren dennoch sehr heftig.« Dann widersetzt sich v. Humboldt dem Volta'schen Grundversuch in Betreff der Nothwendigkeit der drei ungleichartigen feuchten Leiter. »Ich zog »einem Frosch die Oberhaut ab, und präparirte ihn so, dafs der Rumpf »mit den Schenkeln nur durch die entblöfsten Ischiadnerven zusammen»hing. Ich erregte heftige Muskelbewegungen, als ich das »rothe, gar nicht tendinöse Muskelfleisch der Lende leise »gegen den Ischiadnerven zurückbeugte. Hier war der Sti»mulus unter Umständen wirksam, unter denen er sich vorher noch »nie gezeigt hatte! Hier waren nur zwei, und zwar organisch ver»bundene Stoffe, Muskel und Nerv, in Berührung! Von einem »mechanischen Druck konnte die Reizung nicht entstehen; denn alle »Theile blieben in Ruhe, als der Ischiadnerv allein mit Muskelfleisch, »Siegellak, Holz und anderen nicht excitirenden Substanzen erschüt»ternd berührt ward. Ja, eben diese Ruhe erfolgte, als eine dünne

»Glasplatte oder Blättchen von einer aufgetrockneten Pflanze den Nerv »bedeckten, und die Lende nun gegen diese zurückgebeugt ward..... »Es kommt hier nicht auf Bestreitung einer Theorie, sondern nur auf »Ausmittelung von Thatsachen an, und dafs die vorgenannten zu ver»wickelt sind, um nicht eine vieldeutige Erklärung zuzulassen, mufs »jedem Unparteiischen einleuchten. Sie setzen alle eine besondere »künstliche Präparation des Thieres voraus, beide Extremitäten müssen »dabei widernatürlich gebeugt oder bewegt werden..... Ich verlasse »daher diesen unsichern Weg der Untersuchung, und halte mich an »einfache Versuche, die, so viel ich weifs, noch Niemand vor mir »anstellte. Einem Frosch, der einen .... hohen .... Grad der Er»regbarkeit zeigte, wurden beide Schenkel abgelöset. An dem rechten »Schenkel präparirte ich den Cruralnerven schnell heraus, und legte »diesen, sammt der ganzen Extremität, auf eine wohlgetrocknete Glas»platte. Ich befestigte nun ein 4 bis 6 Kubikzoll frisches Muskelfleisch »an einem isolirenden Griff von Siegellak, und berührte damit zugleich »den Cruralnerv und Schenkelmuskel des Frosches. Es entstanden.... »lebhafte Zuckungen....« Holz, Horn, ein scharfer Knochen zum Leiter zwischen Nerv und Muskel genommen, gaben keine Spur einer Zusammenziehung. Berührte v. Humboldt Nerv und Muskel einzeln mit zweien Stücken Muskelfleisch, so blieb Alles in Ruhe. »Der Sti»mulus war nicht eher wirksam, als bis sich beide Stücke Muskelfleisch »unter einander berührten, oder bis sie durch ein drittes mit einander »verbunden wurden. Ich präparirte nun den linken Froschschenkel, »der bereits über eine Viertelstunde geruhet hatte; sein Cruralnerv »schien so unempfindlich, dafs er selbst durch mechanisches Kneifen, »wenn es nicht überaus heftig war, nicht zu Muskelbewegungen gereizt »werden konnte. Dennoch glückten alle vorbeschriebenen Versuche »auch mit diesem.... Dieselben Versuche glückten mir an mehreren »anderen Land- und Wasserfröschen, an der kleinen Rana arborea, »der Lacerta agilis und der Hausmaus (Mus Musculus).... Bei meh»reren Individuen löste ich den oberen Theil des Cruralnerven ab, und »schob dieses getrennte Stück mittels einer Glasröhre zwischen den »noch inserirten Nerv und den Schenkel selbst. Als auf beiden Seiten »der Contact geschah, blieb die convulsivische Erschütterung nicht »aus. Hier waren nur zwei heterogene Stoffe, ein inserirter Nerv, »ein Nervenstück und Muskelfleisch in Berührung, also jeder Verdacht, »diese merkwürdige Erscheinung auf die Voltaische Theorie vom ge»störten Gleichgewicht der Elektricität, durch den Contact von wenig»stens drei heterogenen Substanzen zu reduciren, entfernt.«

Folgendermafsen fafst v. Humboldt die Ergebnisse dieser Ver-

suche zusammen: »Hier hatte ich also lebhafte Muskelbewegungen »erregt:

»1. indem ich die Lende eines Thieres gegen den Ischiad-»nerven zurückbog, mit dem sie noch organisch ver-»bunden war,

»2. indem der Cruralnerv und sein Schenkelmuskel mit-»tels eines abgeschnittenen Stückes Cruralnerv zu-»gleich berührt wurde, und

»3. indem thierische Theile eine Leitung von einem »Theile des Nerven zum andern bildeten.

»In dem ersten Falle war der Contact blofs unter solchen Theilen, »welche organisch mit einander verbunden waren. In den beiden »letzten Fällen geschah derselbe mittels getrennter Stücke, welche »aber kurz vorher noch dem gereizten Organe angehörten, und ent-»weder der sensiblen oder irritablen Fiber homogen waren.«

Die allereinfachste Art des Versuchs, welche Galvani bereits geglückt war (S. oben S. 65), wobei der Nerv und Muskel eines vom Rumpf ganz getrennten Schenkels mit einander in Berührung gebracht werden, ist zwar v. Humboldt selbst nicht von statten gegangen, findet sich aber in einem Anhange zu seinem Werke von J. W. Ritter's Hand wieder, dessen Name hier zum ersten Male in der Geschichte des Galvanismus erscheint. »Der ganze Schenkel war mit destillirtem Was-»ser abgespült« — heifst es daselbst — »und also völlig rein vom »Blut. Die Zuckung entstand, wenn das Ende des Nerven gegen den »Lendenmuskel mittelst einer Glasröhre zurückgebeugt ward, beim »Schlufs und Trennung der Kette.« (Sommer 1797) [1] Hier mag sogleich bemerkt werden, dafs Ritter, welcher der Volta'schen Lehre anhing, den dritten ungleichartigen Körper in der Muskel- und Nervensubstanz durchweicht haltenden thierischen Feuchtigkeit suchte. [2] Er bedachte nicht, dafs dieser Zwischenleiter, wie an den künstlich blosgelegten Gränzen der Organe, so auch im Innern derselben überall zugegen sei, wodurch die Erfüllung jener Bedingung des gestörten Gleichgewichtes wieder ganz unbegreiflich gemacht wird.

Im dritten Abschnitt beweist v. Humboldt die Möglichkeit von Zuckungen mit wirklich gleichartigen Bögen. »Kein Streit,« — sagt

[1] A. a. O. Bd. II. S. 441. — Ritter's Beiträge u. s. w. Bd. I. St. 3. 4. 1802. S. 113 ff. — Physisch-chemische Abhandlungen. Bd. I. Leipzig 1806. S. 11 (29. October 1797). — Dasselbe sah Reinhold, de Galvanismo Specimen I. Lipsiae, 16. December 1797. 4°. p. 30. 31.

[2] Beweis, dafs ein beständiger Galvanismus den Lebensprocefs in dem Thierreich begleite. Weimar 1798. S. 31.

er — »welcher den Galvanismus betraf, ist jenseits der Alpen mit »solcher Hitze und Bitterkeit geführt worden, als der über die Frage, »ob homogene Metalle, als Muskel- und Nervenarmatur, auch Con»tractionen erregen können? Bei dieser Lebhaftigkeit ist es kaum begreif»lich, wie lange man sich mit unexacten Versuchen begnügte. Statt »sich selbst Metalle zu reinigen und nur diese anzuwenden, agirte man »mit Scheeren und Feilen, deren Mischung man nicht kannte. Ja! »man drehte sich immer im Kreise um die Versuche mit kaufbarem Zinn »und Eisen, ungeachtet jedem Chemisten bekannt ist, dafs jenes immer »mit Blei gemengt, dieses in einem dreifachen Zustande, rein, ge»kohlt und überkohlt vorkommt.« Hier spielt v. Humboldt auf ältere Versuche an, die ich eben dieser wider sie gültigen Anklage halber oben übergehen zu dürfen geglaubt habe; es giebt dergleichen von Valli,[1] Berlinghieri in Pisa,[2] den Commissarien der Société philomatique zu Paris, Chappe, Pobilliard und Sylvester,[3] Lind in Windsor,[4] und Pfaff.[5] Keinesweges aber bewiesen diese Erfahrungen, weil sie unrein seien, dafs bei wirklich gleichartigen Metallbelegen keine Zuckung erscheinen könne. »Ich bin weit davon ent»fernt, die Thatsachen zu läugnen, welche Herr Volta dem Professor »Vassalli zu Turin meldet. Ich habe mich durch selbst wiederholte »Versuche überzeugt, dafs ein unwirksamer Bogen dadurch wirksam »wurde, dafs sein eines Ende 12 Minuten lang in siedendes Wasser »getaucht wurde. Es ist unwidersprechlich wahr, erst durch die »Beobachtungen des grofsen Ticinischen Naturlehrers erwiesen, dafs

> »»Thiere, bei denen homogene Metalle keine Con»»vulsionen erregen, dieselben sogleich erleiden, »»wenn die Metalle durch die leiseste Abänderung »»des Mischungsverhältnisses, der Politur, Härte, »»Form, Temperatur, ungleichartig gemacht wer»»den.«

[1] Reinhold's Geschichte des Galvanismus u. s. w. S. 41.* Eus. Valli's neunter Brief, gezeichnet London am 2. December 1792. — S. auch Reinhold's de Galvanismo Specimen I. etc. p. 38.*

[2] Gren's Journal der Physik. 1794. Bd. VIII. S. 22.* (Brief von van Mons an Gren, gezeichnet Brüssel am 12. December 1793.)

[3] Ebendas.

[4] Alexander Monro's und Richard Fowler's Abhandlung über thierische Elektricität und ihren Einfluss auf das Nervensystem. (Aus dem Englischen vom Jahr 1794.) Leipzig 1796. S. 81. Anm.*

[5] Gren's Journal der Physik, ebendas., S. 278.* — Ueber thierische Elektricität und Reizbarkeit. 1795. S. 64. 157.*

»Dieses ist das Resultat jener Versuche, wie mir scheint; nicht aber »der Satz, den Herr Volta aufstellt:

»»dafs, nur unter der Bedingung einer Ungleich-
»»artigkeit in den Metallen, Muskularbewegungen
»»erfolgen können.«

».... Der Ticinische Physiker setzte .... den Thatsachen des Herrn »Aldini rationale Zweifel entgegen (S. oben S. 67). Es würde nicht »schwer sein, auch diese mit neuen Muthmafsungen zu beantworten; »da es mir aber einfacher schien, Facta so lange durch Facta zu »prüfen, als der Streit Gegenstände des äufsern Sinnes betrifft, so »sann ich alsbald auf Versuche, welche jene Zweifel heben könnten. »Meine Vorrichtung war diese: Ich reinigte Quecksilber so viel, als es »die Lehrbücher der praktischen Chemie angeben. Es hatte die De»stillation, häufiges Durchpressen durch Leder, und Waschen mit Sei»fenwasser, Weinessig und Alkohol erlitten. Es hatte alle Kennzeichen, »welche man von einem reinen, mit Blei, Zinn, Wismuth, Staub und »Fett nicht vermengten Quecksilber angiebt. Es war vollkommen flüs»sig, liefs sich in vollkommen runde Kügelchen zertheilen, ohne anzu»hängen oder Schmutz zurückzulassen. Seine Oberfläche war spiegel»hell, ohne Häutchen, oder eine Spur von farbigen Striemen. Kleine »Quantitäten davon, im Mörser mit Wasser gerieben, gaben dem Was»ser keine Farbe. In Salpetersäure ohne merkliches Brausen auf»gelöset, hinterliefsen sie keinen schmutzigen Niederschlag. Ein grofser »Theil dieses gereinigten Quecksilbers wurde in drei verschiedene por»zellanene Schalen gegossen. Ich raisonnirte nämlich so: mit jeder »Berührung der metallischen Oberfläche durch thierische Theile wird »dieselbe nothwendig verunreinigt. Diese, auch noch so schwache, »Verunreinigung könnte als eine Ursach der Heterogeneität angegeben »werden, und in einer Schale konnte also nur ein Versuch, und »zwar nur der erste, gültig sein, um Herrn Volta's Zweifel zu »heben. Ich präparirte nun mehrere Froschschenkel dergestalt, dafs »der Cruralnerv und ein Bündel Wadenmuskel zu gleicher Länge »herabhingen, wenn die Extremität in wagrechter Stellung lag. Eine »Glasröhre wurde über der Schale mit Quecksilber horizontal befestigt, »und um dieselbe waren zwei seidene Fäden gewickelt, in denen der »Schenkel [1] schwebte, dergestalt, dafs nach Willkühr der Nerv *m*, »oder der Muskelbündel *n*, tiefer niedergesenkt werden konnte. Ich »liefs nun den ganzen Schenkel wagerecht, bis auf zwei Linien Ent-

[1] »Es bedarf keiner Erinnerung, dafs der Schenkel von Blut so gereinigt sein »mufs, dafs kein Tröpfchen desselben auf's Metall herabträufelt.« (Anmerkung von v. Humboldt.)

»fernung, gegen die Schale herab, dann verlängerte ich blos den »Faden *o*, so dafs der Nerv die metallische Oberfläche berührte. Es »entstand keine Zuckung. Kaum aber kam auch *n*, durch die Ver»längerung« .... des anderen Fadens *p* .... »in Contact, so war die »ganze Extremität convulsivisch erschüttert. Dieser Versuch wurde »behutsam in den anderen zwei Schalen wiederholt, und mit gleichem »Erfolge..... Die Berührung geschah .... zu beiden Seiten blos in »der Oberfläche; kein thierischer Theil wurde eingetaucht, und »das Herabsenken geschah so leise, dafs jeder Verdacht des Stofses, »den Herrn Aldini's Versuche mit Siphonen und herablaufendem Queck»silber billig erregten, hiebei ganz wegfiel..... Ich bitte nun einen »jeden unparteiischen Richter, zwischen Herrn Volta und mir zu ent»scheiden. Ich ging mit Mifstrauen an diese Versuche, weil es mir »gewagt schien, einen solchen Experimentator zu widerlegen. Aber »wo bleibt hier der Verdacht der Heterogeneität des Metalls, des un»gleichen Einsenkens, des ungleichen Stofses der Theile? Der Versuch »glückt mir immer schon beim ersten Einsenken, glückte in allen »Punkten. Erlauben nun wohl die Regeln, nach denen wir bei an»dern physikalischen Erscheinungen schliefsen, jedes chemisch gerei»nigte Quecksilber in allen Punkten für ungleichartig zu hal»ten?« [1]

Dies sind v. Humboldt's berühmte Quecksilberversuche; die Zeit aber hat die gewünschte Entscheidung zwischen ihm und Volta übernommen und längst zu seinen Gunsten gesprochen. Wenn auch seitdem die Ungleichartigkeit der Metalle durch ungleichzeitiges Eintauchen bekannt geworden ist; wenn andere Mittel angewendet werden, um völlige Gleichartigkeit metallischer Oberflächen zu erlangen; wenn selbst dem Quecksilber heutzutage in dieser Beziehung der Vorzug schwerlich gegönnt werden würde, dessen Flüssigkeit eine schnelle Veränderung der durch jene Mittel gleichartig gemachten Oberfläche zuläfst: die Fähigkeit der thierischen Theile, an und für sich einen Strom zu entwickeln, der sich bald durch einen feuchten, aus ihnen selbst gebildeten Bogen, bald durch einen gleichartigen Metallbogen begebend, sie zur Zuckung anzuregen vermag, hat von hier ab, bis zum unmittelbaren Nachweis jenes Stromes am elektromagnetischen Rheoskop, bei allen unbefangenen Forschern als unbestrittene Thatsache festgestanden.

Inzwischen war Galvani, obschon durch Krankheit, Gram und

[1] Auch Reinhold gelangte zu dem Schlusse: »Quibus omnibus contra Voltam »probari censemus: motus quoque excitari, si armaturis, quoad mortali distinguere »fas est, maxime homogeneis in animante satis incitabili utaris.« De Galvanismo Specimen I. etc. p. 39.

äufsere Widerwärtigkeiten, welche die Kriegsläufte über ihn gebracht hatten, tief gebeugt, [1] seinerseits nicht müfsig geblieben. Zum letzten Mal vernehmen wir seine Stimme, zur Vertheidigung seiner Theorie, an der er unerschüttert hängt, in seinen fünf Briefen an den Physiologen Lazzaro Spallanzani zu Pavia. [2] Der erste derselben, obschon gleichzeitig mit den übrigen erschienen, mufs nothwendig vor Volta's drittem Brief an Vassalli, und nach seinem zweiten, also im Sommer 1795, geschrieben sein, denn er hat vorzüglich zum Gegenstande die Widerlegung der Einwürfe, welche Volta in diesem gegen die Versuche ohne Metalle richtet, und in dem dritten wieder zurücknimmt. (S. oben S. 68.) Nachdem Galvani auf die Unterschiede zwischen der gemeinen und der angeblichen thierischen Elektricität, und hingegen die Aehnlichkeit zwischen dieser und den Schlägen der Zitterfische, in Bezug auf Leitung und Nichtleitung durch gewisse Körper und unter gewissen Umständen nicht ohne Scharfsinn aufmerksam gemacht hat, widersetzt er sich zunächst den Behauptungen Volta's hinsichtlich der Seltenheit und Unzuverlässigkeit der Zuckung ohne Metalle. Ihm versagte dieselbe nur ein paarmal auf hundert; wovon er, abgesehen von einer zahlreichen und gelehrten Zuhörerschaft, denen der Versuch in dem Institut von Bologna öffentlich gezeigt worden sei, insbesondere jenen Schriftführer Canterzani (S. oben S. 38), dann aber auch Spallanzani selbst als Zeugen anruft. Eben so irrig sei Volta's Aussage, dafs die Zuckung nur erhalten werde, wenn die Thiere im vollsten Besitz der Reizbarkeit seien, so dafs die geringste mechanische Gewalt, welche die Nerven treffe, Zusammenziehung veranlasse: man solle vielmehr, um seiner Sache gewifs zu sein, diese Stufe der höchsten Reizbarkeit vorübergehen lassen, und die dazu verwandten Thiere müfsten nicht frisch dem Sumpf entnommen, sondern vor dem Versuch in passenden Wasserbehältern aufbewahrt und durch fortgesetztes Fasten erst bis zu einem gewissen Grade geschwächt und blutleer gemacht worden sein. Wahrscheinlich habe Volta im Sommer seine Versuche angestellt

[1] Reinhold's Geschichte des Galvanismus u. s. w. S. 3. — Elogio del celebre Professore Luigi Galvani composto dal ch. Signor Professore Giuseppe Venturoli e da esso recitato nell' Accademia pubblica dell' Istituto di Bologna del 24. Maggio 1802. Opere edite ed inedite ec. p. 115.

[2] Memorie sulla Elettricità animale ec. al cel. Ab. Lazzaro Spallanzani, per le Stampe del Sassi. Bologna 1797. 4°. — Opere edite ed inedite ec. p. 301 seg. Der erste Brief ist, vielleicht nicht ohne Bezug auf die Eingangsworte von Volta's erstem Brief an Vassalli (S. oben S. 57), überschrieben: »Risposta al ch. Professor Volta sulla pretesa Elettricità de' metalli eterogenei, e sulla congetturata »loro forza di sbilanciare la Elettricità negli animali.«

(doch wohl nicht, da der zweite Brief an Vassalli vom Frühjahr 1794 ist, s. oben S. 66), wo die Frösche sich nicht gut aufbewahren liefsen und zugerichtet überdies schnell vertrockneten. Was die Anklage Volta's in Betreff des mechanischen Reizes beträfe, so brauche man nur auf den Schenkel an der Stelle, gegen welche man den Nerven fallen zu lassen beabsichtige, ein Plättchen eines isolirenden Körpers anzukleben, und die Zuckung bleibe aus. Vielleicht aber würde Volta hier die Flüssigkeit vermissen, durch deren Anziehung zur Feuchtigkeit des Nerven dieser sich rasch gegen den Schenkel bewegt; nun gut, so benetze man jenes Plättchen; man benetze es mit Muskelfeuchtigkeit selber, ja man belege es, um die völligste Gleichheit der mechanischen Bedingungen wiederherzustellen, mit Muskelfleisch, z. B. einem Stück Bauchmuskel vom Frosch: nie wird jetzt Zuckung entstehen, wofern nicht die Feuchtigkeiten zu beiden Seiten der Platte mit einander in leitende Verbindung gerathen sind. Man könne übrigens auch den Nerven ganz unbewegt lassen, indem man an Nerv und Muskel einen Streifen Sehne oder Muskel vom Frosch anbringt, und das freie Ende desjenigen, der auf dem Schenkel aufliegt, auf das entsprechende des mit dem Nerven in Verbindung stehenden Streifens fallen läfst. Auch auf diese Weise glücke es, das Bild des elektrischen Tanzes (S. oben S. 63) zu erlangen; er habe diesen zarten Versuch den Herren Cingari, Sacchetti und seinem Neffen Camillo Galvani (S. oben S. 41) zu wiederholten Malen gezeigt. Als Streifen Muskelfleisch, um denselben damit anzustellen, empfiehlt Galvani, es wird nicht recht deutlich warum, die beiden Hälften eines längsdurchschnittenen Gastroknemius vom Frosch. Diese beiden Hälften sollen so gelagert werden, dafs sie einander beim Schliefsen der Kette entweder ihre beiden äufsern Flächen, oder der eine die äufsere, der andere die innere Schnittfläche zuwenden. Für das Letztere wird sich in der Folge allenfalls ein Grund angeben lassen. Bei dieser Art des Versuchs sehe man häufig die Trennungszuckung erfolgen. Endlich erhalte man die Zusammenziehung auch, indem man ein drittes Stück Muskelfleisch oder Froschhaut als Vervollständigung des Bogens auf die freien Enden der beiden ersten Stücke fallen lasse, oder dasselbe wieder entferne. Lasse man den Nerven bei der ursprünglichen Form des Versuchs (S. oben S. 62) auf den Schenkel eines andern Frosches fallen, so zucke der zum Nerven gehörige erste Schenkel nicht, wofern nur beide Schenkel genau von einander isolirt seien.

Im zweiten Brief an Spallanzani, überschrieben »*Nuove reflessioni, ed altre esperienze sullo stesso argomento*«, kommt Galvani zunächst auf die Erklärung der Zuckung ohne Metalle durch die Un-

gleichartigkeit von Nerv und Muskel zu sprechen. Es scheint jedoch nicht, als ob er bereits von Volta's drittem Schreiben an Vassalli Kenntnifs gehabt habe, denn er thut der Behauptungen desselben hinsichtlich der Nothwendigkeit der Berührung der Achillessehne und aufserdem der Verunreinigung des Frosches an der Berührungsstelle von Muskel oder Nerv und dieser Sehne keine Erwähnung, so dafs man vermuthen mufs, dafs er entweder von diesem neuen Einwurfe Volta's nur gerüchtweise Kunde gehabt, oder ihn, in Jenes Sinne überlegend, selbstständig vorausgesehen habe. Diesen Einwurf zu beseitigen, beruft er sich auf einen äufserst merkwürdigen Versuch, den ich nicht umhin kann, als den Grundversuch der elektrischen Nervenphysik anzuerkennen; denn er erklärt sich so vollständig durch den von mir entdeckten Nervenstrom und dessen Gesetze, er ist so genau beschrieben und es ist so wenig Ursache vorhanden, Mifstrauen in Galvani als Berichterstatter über Erfahrungen zu setzen, dafs ich keinen Augenblick zweifle, das Mifslingen desselben, so oft ich ihn (ohne von dieser Aussage Galvani's die mindeste Kenntnifs zu haben und a priori durch mein Gesetz darauf geführt) selbst anzustellen versucht habe, sei einzig und allein der geringeren Leistungsfähigkeit der Frösche in unseren Breiten zuzuschreiben, einer allgemein anerkannten Thatsache, die sich aufs Neue durch die obige Behauptung Galvani's in Betreff der Häufigkeit der Zuckung ohne Metalle bestätigt findet. Der Versuch ist folgender: »Ich richtete das Thier in der gewöhnlichen Weise zu, »schnitt beide Ischiadnerven dicht an ihrer Austrittsstelle aus dem »Wirbelkanal ab, und trennte beide Beine von einander, so dafs jedes »mit seinem Nerven vereinzelt zurückblieb. Sodann krümmte ich den »einen Nerven in Gestalt eines kleinen Bogens, hob den anderen mit »dem gewohnten Glasstäbchen auf, und liefs ihn auf den durch den »ersten gebildeten Bogen mit der Rücksicht fallen, dafs er diesen in »zweien Punkten traf, deren einer der Querschnitt des ruhenden Nerven war. Ich sah das Bein des fallenden Nerven und »manchmal auch beide Beine zucken; der Versuch glückt, wenn beide »Beine vollständig isolirt sind, und durchaus keine andere Verbindung »mit einander haben, als durch die Berührung der Nerven auf die »vorbeschriebene Weise. Welche Ungleichartigkeit wird hier nun wohl »zu Hülfe gerufen werden, wo die blofsen Nerven mit einander in »Berührung kommen? Vielleicht wird man seine Zuflucht zu dem »Reize nehmen wollen, dem sie beim Fall des einen auf den andern »ausgesetzt sind. Aber warum erfolgt keine Zuckung, wenn man »dieselben Nerven auf einen viel härteren und rauheren Bogen aus »einem nichtleitenden Stoffe, Schwefel, Glas, aufschlagen läfst? Und

»doch müfste in diesem Falle die mechanische Gewaltthätigkeit weit »bedeutender sein.« [1]

Es ist zu bedauern, dafs GALVANI hier, auf dem Glanzpunkt seiner Entdeckungen, nicht so viel über sich vermocht hat, um noch jetzt den Ausweg zu ergreifen, dessen Möglichkeit er nun, gerade wie VOLTA im dritten Brief an VASSALLI, vor sich sieht: nämlich diese und andere Erscheinungen der thierischen Elektricität zuzuschreiben, die Zuckungen mit ungleichartigen Bögen hingegen der Elektricität der Metalle. Statt dessen beharrt er in dem Fehler, in den wir seinen Gegner erst allmählig verfallen sahen, Alles aus einer Ursache herleiten zu wollen, und bemüht sich daher von Neuem, VOLTA's Lehre durch Einwendungen zu erschüttern, die freilich noch unglücklicher ausfallen, als die, welche Jener gegen die thierische Elektricität aufgebracht hatte. Wir gedenken hier nur seiner Wiederholung der Versuche mit gleichartigen Bögen. ALDINI's Quecksilberversuche sind, mit Rücksicht auf die Bemerkungen VOLTA's im zweiten Briefe an VASSALLI, und mit gleichem Erfolge, so angestellt worden, dafs nur die Oberfläche des flüssigen Metalles zart berührt wurde. Dann wendet sich GALVANI vorzugsweise den festen Leitern zu, indessen erregen seine Erfahrungen auf diesem Gebiete kein grofses Vertrauen, da er ohne Unterschied Eisen, Capellsilber, Zinn, Zink, Kupfer, Antimon, Schwefel- und Kupferkies, Reifsblei, Holzkohle in Anwendung bringt. Ferner

[1] Ivi, p. 322. 323: » »Preparai l'animale nella solita maniera; tagliai indi l'un »nervo sciatico e l'altro presso la loro escita dal canal vertebrale; poi divisi, e »separai l'una gamba dall' altra, in modo che ciascuna di esse rimanesse col solo »suo corrispondente nervo; piegai in appresso il nervo dell' una a modo di picciol »arco, indi alzato col solito cilindretto di vetro il nervo dell' altra, lo lasciai cadere »sopra quest' arco nervoso, coll' avvertenza, che il nervo nella sua caduta toccasse »in due punti l'altro piegato in arco, e che la boccuccia di quello formasse »uno dei due punti. Vidi muoversi la gamba il di cui nervo io faceva cadere sopra »il nervo dell' altra, talvolta ancora le vidi muoversi ambidue; l'esperimento succede »essendo esse isolate totalmente, e non avendo tra loro commercio alcuno, salvo »che pel toccamento de' nervi. Or quale eterogeneità potrà qui richiamarsi in aiuto »delle insorte contrazioni, allorchè i soli nervi vengono tra di loro a contatto? Si »ricorrerà forse allo stimolo che soffrono i nervi nella caduta dell' uno sopra dell' »altro. Ma e perchè percuotendo uno de' medesimi nervi sopra di un arco assai »più duro ed aspro fatto di materia coibente, come se formato di zolfo, o di vetro, »non si ottengono le contrazioni? Eppure in questo caso dovrebbe lo stimolo nato »dalla percossa essere assai maggiore.« Der Ausdruck »la boccuccia di quello« könnte zweideutig und meine obige Uebersetzung willkürlich erscheinen; allein S. 330. 331 heifst es bei Beschreibung eines Versuchs: ».... avvertendo di più che »la boccuccia, per così dire, del nervo reciso poggi costantemente su dell' arma»tura ec.«, wodurch die gegebene Deutung hinlänglich gerechtfertigt ist.

belegt er Nerv und Muskel mit feuchtem Papier, frischem Muskelfleisch, frischer Froschhaut, Stücken einer saftigen Frucht oder Wurzel, Schnitten hartgekochten Eiweifses, und verbindet diese durch einen als gleichartig erachteten Bogen. In das Labyrinth dürftiger Hypothesen, verwickelter Versuche, unglaublich kühner und unzusammenhängender Folgerungen, die er auf dem Flugsand seines Systems alsbald bis in die Wolken der Pathologie und Therapie aufbaut — in alle diese Irrsale, an die sich für uns nichts Wichtiges knüpft und die Volta's Leistungen gegenüber fast nicht anders als durch eine Art krankhaften Eigensinns zu erklären sind, wollen wir Galvani durch die gröfsere Hälfte der zweiten »*Memoria*«, und die ganze dritte und vierte hindurch nicht folgen. Aus der zweiten entnehmen wir nur noch folgenden Versuch: Man lege an den Nerven des zugerichteten Frosches zwei Stückchen Muskelfleisch an, und breite über ihre freien Enden ein drittes Stückchen gleicher Art; hebt man nun das eine Ende desselben mit einem Glasstäbchen in die Höhe und läfst es wieder zurückfallen, so sieht man lebhafte Zuckungen entstehen (p. 343 *). Indessen ist diesem Versuche keineswegs dieselbe Bedeutung zuzuschreiben, wie demjenigen, welcher oben als Grundversuch der elektrischen Nervenphysik angesprochen wurde; denn erstens ist nicht gesagt, dafs das eine Stückchen Fleisch an den Querschnitt des Nerven anzulegen sei, und zweitens ist frischer Muskel im Spiele, der, wie die Folge lehren wird, an und für sich elektromotorisch wirkt; ein Punkt, der überhaupt bei allen solchen hier vorkommenden Formen des Versuches ohne Metalle in Anschlag zu bringen ist, bei welchen dergleichen zur Vervollständigung des Kreises angewendet wurde.

Bedeutender ist der fünfte Brief an Spallanzani. Er enthält Galvani's in Sinigaglia und Rimini, an den Küsten des Adriatischen Meeres über Torpedo angestellte Untersuchungen. Es ist hier nicht der Ort, näher auf dieselben einzugehen, und wir müssen uns abermals darauf beschränken, einen einzelnen hier eingemischten, auf den Froschstrom bezüglichen Versuch hervorzuheben. Der Zweck, den Galvani dabei verfolgte, ist so verwirrt und mit seinen Irrthümern so tief verwachsen, dafs es verlorene Mühe wäre, ihn hier erst auseinandersetzen zu wollen. Die Erfahrung selbst ist diese: »Ich setzte einen »Bogen aus Muskelstückchen zusammen, ähnlich dem, der sich in der »ersten Abhandlung beschrieben findet, dessen eines Ende von dem »Ischiadnerven eines zugerichteten Frosches ausging, und der sich bis »zum entsprechenden Oberschenkel erstreckte. Diesen Bogen unterbrach »ich mit Fleifs, eines der Muskelstückchen von seinem Nachbar ent»fernend; dann überbrückte ich die Lücke zwischen den beiden Stück-

»chen mit dem Ischiadnerven eines in gleicher Weise zugerichteten »Frosches..... Hob ich nun eines der anderen Muskelstückchen, »welche den Bogen bildeten, auf, und liefs es auf seinen Nachbar »wieder herabfallen, wie es oben beschrieben ist, so zuckten beide »Schenkel.« (p. 420.*) Das Zucken auch des zweiten Präparates leitet Galvani, mit sehenden Augen blind, statt von dem Strom des ersten, davon ab, dafs die Reihe der Muskelstückchen und das erste Präparat einen an den Nerven des zweiten angelegten Bogen vorstellen, wodurch in diesem eine Entladung bewirkt werden soll, und um dies zu beweisen, wendet er, statt des ersten Präparates, ein solches an, welches sogar auf den Reiz ungleichartiger Metalle nicht mehr Antwort gab; trotz dem zuckte noch jetzt das zweite Präparat. Da er denselben Erfolg beobachtete, als er den todten Frosch durch einen beliebigen feuchten Leiter, ein Stück Haut u. s. w., ersetzte, so ist deutlich, dafs die Muskelstückchen hier entschieden in der ihnen so eben zugeschriebenen Rolle thätig waren.

---

## §. VI.

## Volta's schliefsliches Urtheil über die Zuckung ohne Metalle.

Hier nehmen wir Abschied von Galvani, der bereits im folgenden Jahre, am 4. December 1798, starb, vielleicht ein Glück für ihn, ohne die Entdeckung der Säule und den dadurch herbeigeführten gänzlichen Untergang seiner Lehre zu erleben. Sehen wir zu, was jetzt Volta, der unversöhnliche Feind der thierischen Elektricität, diesen neuen Anstrengungen ihrer Anhänger noch zu entgegnen haben mag. Dieser hatte währenddem, auf seinem eigenen Wege vorwärts strebend, Riesenschritte gemacht. Sein zweiter Brief an Gren, vom August 1796 gezeichnet, enthält die zuerst am Nicholson'schen Duplicator gelungene Entdeckung der elektroskopischen Anzeichen positiver und negativer Elektricität, welche durch die bloſse Berührung ungleichartiger Metalle entwickelt wird. Es verdient bemerkt zu werden, dafs Volta bis dahin, während einer so langen Reihe von Jahren, und in so zahlreichen Abhandlungen, sich auch nicht ein einzigesmal in der Weise vergeben hat, dafs er, bevor der Versuch entschieden, die Ursache des Stroms eher in der Berührung der Metalle unter sich, als in der dieser mit der Flüssigkeit gesucht hätte. Stets heifst es nur; die Zusam-

menstellung ungleichartiger Metalle mit einem beliebigen feuchten Leiter in der bekannten Weise gebe der Elektricität einen Antrieb, gleich viel wie dies geschehe, in der Richtung, die er so sinnreich mit Hülfe des elektrischen Geschmacks am Conductor der Elektrisirmaschine festgestellt hatte (S. oben S. 70); und wir erfahren hier, was die Anhänger der chemischen Hypothese von dem Ursprunge des elektrischen Stromes eigentlich sehr interessiren müfste, dafs Volta sogar, ehe er seine Condensatorversuche anstellte, sich entschieden zu der Ansicht hinneigte, die Berührungsorte der Metalle mit der Flüssigkeit seien der Sitz des stromerregenden Vorgangs: »Non voglio dissimulare, che in »passato io inclinava molto a quest' ultima supposizione, a riporre »cioè l'azion movente il fluido elettrico, anzichè nel mutuo contatto »de' due metalli diversi, nel combaciamento di ciascun d'essi co' con»duttori umidi, o di 2a. classe. E in vero non si può negare, che »una qualche azione non abbia luogo in codesti combaciamenti de' »metalli co' conduttori umidi: azione or più or meno forte:« [1] wobei er sich auf die oben S. 74 angeführten Thatsachen beruft, die indefs bekanntlich, wegen der möglicherweise stattfindenden, in den ausgezeichnetsten Fällen sogar nicht zu bezweifelnden Veränderung einer oberflächlichen Schicht des Metalls noch einer anderen Deutung fähig sind. Allein neuere Versuche haben ihn überzeugt, dafs bei der gewöhnlichen Art die Galvani'schen Versuche anzustellen, wobei die Metalle an wässrige oder ähnliche feuchte Leiter angelegt werden, weit mehr der wechselseitigen Berührung der Metalle, als ihrer Berührung mit dem feuchten Leiter, zugeschrieben werden müsse. Und nun folgt die berühmte Versuchsreihe, welche, unter dem Namen der Volta'schen Fundamentalversuche bekannt, mit der Darstellung des Funkens durch blofse Berührung ungleichartiger Metalle schliefst, und wodurch diese neue Erregungsart der Elektricität aufser Zweifel gesetzt ist: »Elettricità« — sagt Volta — »che è in certo modo di mia giuris»dizione, e che non mi si contrasterà più di poter chiamare elet»tricità metallica.« [2] Diesem Wunsche ist nicht gewillfahrt worden: allein Volta verzeiht gewifs, wenn sie lieber nach ihm die Volta'sche Elektricität genannt wird.

Man kann sich den Eindruck leicht vorstellen, den es auf Volta machen mufste, als ein Jahr nach diesem Erfolge, der alle seine Voraussichten so glänzend bestätigt hatte, Galvani's Briefe an Spallanzani ans Licht traten, deren erster der Widerlegung der Anklage einer

[1] Zweiter Brief an Gren. Collezione dell' Opere ec. t. II. p. II. p. 44. 45.

[2] Dritter Brief an Gren. Ivi, p. 93.

mechanischen Reizung gegen den Versuch ohne Metalle gewidmet war, die er schon zwei Jahre früher ausdrücklich zurückgenommen; deren zweiter die Ausstellungen unberücksichtigt liefs, die er um dieselbe Zeit hinsichtlich der Nothwendigkeit dreier ungleichartiger Körper bei diesem selben Versuch gemacht hatte; endlich in denen allen immer von Neuem dieselbe Flaschentheorie vorgebracht und verfochten wurde, die er schon so oft und so gründlich vernichtet zu haben glaubte; während seine eigenen Thatsachen durch die widersinnigsten Vermuthungen erklärt, seine Lehre durch die schiefsten Einwendungen beseitigt scheinen sollte. Diesem Eindruck ungehindert Luft machen zu können, und wohl nicht ohne einen spöttischen Hinblick auf GALVANI's anonyme Autorschaft im »*Trattato dell' uso ec.*«, richtete VOLTA von Como aus im April 1798 zwei Briefe an ALDINI unter dem Titel: »*Lettere del Cittadino N. N. di Como*« — es war in den Tagen der cisalpinischen Republik — »*al Cittadino* ALDINI, *Professore a Bologna, intorno alla pretesa Elettricità animale nelle sperienze del Galvanismo*«, [1] abermals wahre Meisterwerke wissenschaftlicher Redekunst, wie die physikalische Literatur sie nicht leicht zum zweitenmal aufzuweisen hat; warm von einer Art erhabener Entrüstung über den dumpfen Widerstand der Gegenpartei, und gewürzt durch den Stachel eines feinen Hohnes, den er schonungslos über den minder ehrwürdigen Neffen ausgiefst, im Stillen aber des Oheims denkt. Uns müssen diese Briefe doppelt wichtig scheinen, weil hier es ist, wo VOLTA diejenige Ansicht von der Zuckung ohne Metalle aufstellt, welche seitdem bis auf die neueste Zeit in der Wissenschaft geltend gewesen ist. »Man kann daher, ich wiederhole »es, VOLTA die Versuche nicht mehr entgegensetzen, in welchen man »an einem vollkommen präparirten Frosch die Contractionen entweder »mit einem allereinzigen Metall, was man zwischen die thierischen »Theile oder andere heterogene feuchte Leiter gebracht hat, oder auch »ohne alles Metall, indem man nämlich den Kreis mit blofsen unter »sich verschiedenen feuchten oder Leitern der zweiten Klasse, mit blos »thierischen Substanzen, schliefst, erhält. Es hilft zu nichts mehr, »diese und ähnliche Versuche zu vervielfältigen und zu vermannig»fachen, damit Lärm zu treiben und sie auszupreisen, als wären sie »von jedem Verdacht einer künstlichen und äufseren Elektricität befreit, »und einer thierischen eigenen und inneren Elektricität günstig und für

[1] Sie finden sich im Giornale fisico-medico del Sig. BRUGNATELLI t. XVI. 1798. p. 3—88, sind mir jedoch nur in RITTER's trefflicher Uebersetzung (S. RITTER's Beiträge u. s. w. Bd. II. Stück 3. 4. 1805. S. 3 ff. *) zugänglich gewesen. In einer kurzen Einleitung hebt hier RITTER die Zweifel, die gegen VOLTA's Vaterschaft in Betreff dieser Briefe etwa gehegt werden könnten.

»sie entscheidend. Diesen Einwürfen ist von Volta längst zuvor»gekommen, sie sind längst von ihm zernichtet, und seine Erklärungen, »beständig gegründet auf das eine und nämliche allgemeine Princip, »auf das Vermögen nämlich, welches heterogene Leiter nicht allein »der ersten, sondern auch der zweiten Klasse, besitzen, das elektrische »Fluidum zu erregen und in Circulation zu bringen, leisten allen den »angezeigten Fällen und Combinationen Genüge. Blos in Hinsicht »derjenigen von den Versuchen, welche Galvani und die kleine Zahl »seiner Anhänger als Einwurf gebraucht haben, könnte noch einige »Schwierigkeit zurückbleiben, in welchen es nicht scheint, dafs irgend »eine Differenz in den feuchten Leitern, oder in den thierischen Thei»len, welche zur gegenseitigen Berührung gebracht werden, selbst »vorhanden sei, indem man z. B. Muskel mit Muskel, Nerv mit Nerv »u. s. w. zusammenbringt, und dennoch Contractionen Statt haben. »Aber auch diese Schwierigkeit verschwindet (es bleibt also gar keine »mehr zurück), wenn man bedenkt, dafs, wie Volta es auf hundert »Weisen bewiesen hat, es nur einer äufserst geringen Differenz in »irgend einem Punkte der Oberfläche, einer noch unwahrnehmbaren »Verschiedenheit in den zur Berührung gebrachten feuchten Leitern »bedarf, um das elektrische Fluidum so weit zu erregen und in Be»wegung zu setzen, dafs es einen aufs beste präparirten und aufs »höchste erregbaren Frosch wirklich erschüttern kann.« — Wie dies beim Metall der Fall sei; »so ist auch in Hinsicht der feuchten oder »der Leiter der zweiten Klasse, zuweilen, wenn nämlich die Erreg»barkeit des Frosches äufserst hoch, und er selbst aufs beste präparirt »ist, eine geringe Differenz solcher Leiter, eine Differenz, die so gering »ist, dafs sie wenig, ja auch gar nicht, zu bemerken ist, zum Erfolg »hinreichend.« Bei geringerer Reizbarkeit sei dies nicht mehr der Fall; es werden die Kunstgriffe nöthig, die sich in den Briefen an Vassalli und Gren auseinandergesetzt finden: zunächst, die Achillessehne als Berührungspunkt zu wählen, dann aber, bei sinkender Erregbarkeit, eine künstliche Ungleichartigkeit, wenngleich durch Leiter zweiter Klasse, Blut, Speichel, Harn u. s. w., in den Kreis einzuführen. Volta besteht also nicht mehr auf die unumgängliche Nothwendigkeit dieser beiden Bedingungen; er giebt die Möglichkeit zu, in einem Kreise, der anscheinend nur aus Nerv und Muskel, nur aus zweien ungleichartigen Stoffen besteht, Zuckungen zu erhalten, »was »jedoch, um die Wahrheit zu sagen, sich nur selten zuträgt.« Allein weil dies nur bei der äufsersten Erregbarkeit von statten gehe, weil, so wie dieselbe etwas gesunken sei, die Dazwischenkunft einer wahrnehmbaren und merklichen Ungleichartigkeit nothwendig werde, um

Zuckung zu beobachten, deshalb müsse man auch dort noch immer eine solche, freilich jenseits der Grenze unserer Wahrnehmung gelegene Ungleichartigkeit vermuthen. »Und wer wird behaupten können, dafs »hier durchaus nichts Heterogenes zugegen sei? Dafs sich an allen den »Orten der Verbindung oder Berührung zweier den Kreis mit bilden»den Glieder eine ganz vollkommene Homogeneität der sich berühren»den Oberflächen vorfinde? Dafs die Integumente des einen Nerven »oder Muskels von denen des andern in den Punkten, wo sie zusam»men und in Berührung kommen, nicht um das Mindeste von einander »verschieden sind? Dafs sie nicht angefeuchtet, und nicht blos schwach »durchzogen seien, von einer wenn auch nur etwas verschiedenen »Flüssigkeit? Gewifs ist eine vollkommene Homogeneität, welche dem »Argumente der Galvanianer Kraft zu geben scheinen würde, weit »weniger vorauszusetzen, als eine mehr oder minder oder auch gar »nicht bemerkbare Heterogeneität, welche, wie Sie gesehen haben, für »Volta's Grund hinreichend ist.«

Wir werden bald erfahren, dafs diese, dem damaligen Thatbestande gegenüber, nun gewifs untadelhaften und unwiderstehlichen Betrachtungen bei Aldini nichtsdestoweniger ihren Zweck verfehlten. Aber wenigstens die Genugthuung sollte Volta zu Theil werden, dafs fortan die metallische Elektricität von der thierischen, gleichviel wie es um diese stehe, geschieden und als ein Reich für sich würde anerkannt werden müssen. Zu Ende des Jahres 1799 glückte ihm der Schritt, von dem er selbst sagt, dafs es ein grofser gewesen sei; »passo che mi ha »condotto ben tosto alla costruzione del nuovo apparato scuotente, ec.; »il quale ha cagionato tanto stupore a tutti i Fisici; a me grande »soddisfazione, ma stupore non molto dopo l'anzidetta scoperta, che »mi promettea bene un tal successo.« Dieser Schritt, diese Entdeckung waren die, dafs zwei, drei, vier und mehrere Plattenpaare, durch feuchte Leiter getrennt, das Doppelte, Dreifache, Vierfache u. s. w. von elektrischer Spannung gaben, als nur ein einziges.[1] So entdeckte Volta, in dem man den Gipfel des Talents gleichsam zur Sicherheit des Naturtriebes zurückgekehrt sieht, die Säule durch eine Reihe von Untersuchungen, welche, wie Paul Erman bemerklich macht, »absicht»lich angestellt waren, um das, was er gefunden hat, in der Weise »zu finden, wie er es gefunden hat;«[2] und in der That, wäre nicht der Streit gegen die thierische Elektricität fortwährend störend im Wege,

[1] Sull' Identità del fluido elettrico col fluido galvanico. Memoria divisa in due parti. 21. November 1801. Parte I. Ivi, p. 187. §. XX.

[2] Ivi, t. II. p. I. p. XXVI.

so würden Volta's Abhandlungen, in ihrer natürlichen Reihefolge, als einfache Erzählung seiner Versuche, die beste Darstellung der Lehre vom Galvanismus bis zu seiner Zeit in genetischer Form abgeben, die man sich geschrieben denken könnte.

Durch die Säule wurde Volta's Aufmerksamkeit mehr, als es bis jetzt der Fall gewesen war, auf die Erscheinungen der Zitterfische gerichtet. Sogleich in seinem ersten Brief darüber an Banks vom 20. März 1800 spricht er, vielleicht mit weniger Vorsicht, als man sonst an ihm gewohnt ist, die enthusiastische Ueberzeugung aus, dafs die elektrischen Organe nichts seien, als natürliche Elektromotore gleich dem von ihm erfundenen, und wünscht dieses gar als »Organe électrique artificiel« bezeichnet zu sehen. [1] Da er aber bald darauf das sogenannte Gesetz der Spannungsreihe bei den Leitern der ersten Klasse entdeckte, [2] aus dem sich unmittelbar die Unmöglichkeit ergiebt, Ströme in Kreisen nur aus solchen Leitern zu erzeugen, so konnte er nicht umhin, bei fernerer Betrachtung der Wirkungen jener Fische und auch der Zuckung ohne Metalle, obschon er ihrer bei dieser Gelegenheit nicht erwähnt, auf eine neue Schwierigkeit zu stofsen, da er nämlich annehmen mufste, dafs für die feuchten Leiter unter sich kein solches Gesetz ihrer Spannungsreihe gilt. Er stellte daher jetzt, am Schlusse der ersten Abtheilung der »*Memoria sull' Identità ec.*« — der nämlichen Abhandlung, die der Erste Consul, in der Sitzung des Nationalinstitutes, wo Volta sie vortrug, zugegen, stehenden Fufses mit einer goldenen Denkmünze zu krönen vorschlug — die freilich etwas zu sehr der Begründung entbehrende Vermuthung auf: es sei die zweite Klasse der Leiter in zwei Unterabtheilungen zu vertheilen, deren Glieder unter sich, aber nicht gegen die der andern und der ersten Klasse, eine besondere Spannungsreihe ausmachten; und in die so entstehende dritte Klasse ist er gewisse Körper zu bringen geneigt, welche zwar eine Flüssigkeit, aber entweder im geronnenen Zustande, oder sich selbst so einverleibt enthalten, dafs sie nicht leicht aus ihnen herausgedrückt werden könne, so dafs sie nicht im eigentlichen Sinne feucht und benetzt zu nennen seien; als da sind viele thierische Substanzen, Muskeln, Sehnen, Häute, Nerven u. s. f., welche frisch bessere Leiter seien, als Wasser und manche andere Flüssigkeiten. Man könnte sich alsdann vorstellen, dafs die den Plattenpaaren zu vergleichenden Scheidewände in den Säulen der

[1] On the Electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds. In a Letter to the r. hon. Sir Joseph Banks etc. Ivi, t. II. p. II. p. 99. 131. — Sopra alcuni fenomeni chimici ottenuti col nuovo apparecchio elettrico. Lettera diretta al Sig. Prof. Brugnatelli. Ivi, p. 135.

[2] Sull' Identità ec. Ivi, p. 189. §. XXIII. seg.

Zitterrochen halb aus einem, und halb aus einem anderen Leiter dritter Klasse beständen, während die dazwischen gelegene Flüssigkeit der zweiten Klasse angehöre. So würde das Schema der Säule wieder zu Stande gebracht sein. Obschon, wie gesagt, VOLTA an dieser Stelle der Zuckung ohne Metalle nicht gedenkt, so ist doch wohl zu glauben, dafs ihm dieselbe gleichfalls bei diesem Erklärungsversuch im Sinn gelegen. [1]

---

## §. VII.

## Fernere Schicksale des GALVANI'schen Versuchs ohne Metalle bis zum Jahr 1827.

Durch die Entdeckung der Säule hatte VOLTA jetzt auch derjenigen Klasse von Liebhabern vollauf Genüge geleistet, die er selbst am Schlusse seines dritten Briefes an GREN spöttisch bezeichnet, denen es nämlich »Eindruck macht, wenn ihnen recht starke Zeichen von Elektricität »vorgezeigt werden, wenn die Blätter des Elektroskops um recht viele »Grade auseinandergehen, und schliefslich gegen die Wände des Be»hälters anschlagen.« Der Schlag der Säule war nicht leicht in Abrede zu stellen, und der Sieg seiner Ansichtsweise fortan entschieden. Nur ALDINI blieb seinem Gelübde getreu. Dieser bereiste damals England und Frankreich, und warb neue Anhänger für die verlorene Sache der thierischen Elektricität. Im Jahr 1804 erschien von ihm ein Prachtwerk in Französischer Sprache unter dem Titel: »*Essai théorique et expérimental sur le Galvanisme.*« (4°.°) [2] Es besteht dasselbe aus dem eigentlichen Werke und einem Anhange, der mehr als die Hälfte des Ganzen ausmacht. Jenes zerfällt in drei Theile, wovon uns nur der erste berührt, der dem GALVANI'schen Versuche ohne Metalle gewidmet ist; der zweite handelt von den Wirkungen der Säule auf den thierischen Körper, der dritte von der Anwendung derselben in der Heilkunst.

[1] Später dürfte VOLTA übrigens die Leiter dritter Klasse wieder fahren und jene Schwierigkeit auf sich beruhen gelassen haben; wenigstens wird in der oben S. 36 Anm. 3 bereits erwähnten, von CONFIGLIACHI herausgegebenen Abhandlung eines Schülers VOLTA's, die wohl als der Ausdruck seiner damaligen Ansichten (1814) zu betrachten ist, keines von beiden mehr gedacht.

[2] Auch 8°. in 2 Bänden. Paris 1804.° — Deutsch von MARTENS. Leipzig 1804.° — Auszugsweise in GILBERT's Annalen der Physik. 1803. Bd. XIII. S. 216. Bd. XIV. S. 338.°

Seine erste »*Proposition*« heifst: »Les contractions musculaires »sont excitées par le développement d'un fluide dans la machine ani»male, lequel est conduit des nerfs aux muscles sans le concours et »sans l'action des métaux.« Als unmittelbarer Beweis hievon wird, im ächten Geiste Bolognesischer Schule, die Zuckung ohne Metalle angesehen. Diese habe noch Keiner an warmblütigen Thieren nachgewiesen, [1] und nun beschreibt er folgende Versuche. Ein Ochs wird erschlagen, enthauptet; in eines seiner Ohren steckt Aldini einen mit Salzwasser benetzten Finger, hält in der anderen die Füfse eines zugerichteten Frosches, berührt mit der Wirbelsäule die Zunge des Ochsen und erhält auf diese Weise Zuckungen. Oder er berührt ebenso das Rückenmark eines frisch enthaupteten Kalbes, während die Wirbelsäule des Frosches auf die Bauchmuskeln des Thieres herabhängt. Um zu beweisen, dafs »le galvanisme excité dans les expériences précédentes »n'est dû ni à la communication, ni à la transfusion de l'électricité »générale, mais à une électricité propre aux animaux, qui joue un »très-grand rôle dans l'économie animale«, (*Proposition II.* — S. oben S. 61.) werden dieselben Versuche bei isolirten thierischen Theilen und Personen der Beobachter wiederholt; der dritte Lehrsatz: »Le galva»nisme, indépendamment des métaux, se développe vivement par le »moyen de la machine animale humaine«, kann keinen Zweifel mehr leiden, nachdem Aldini, ohne seinen Urheber anzuführen, den älteren Versuch wieder vorgebracht hat, wo man Zuckungen erhält, indem man in der mit Salzwasser benetzten Hand einen zugerichteten Frosch hält, und mit der Zunge die Wirbelsäule berührt. Auch können mehrere Personen eine Kette bilden, deren erste die Füfse, deren letzte die Nerven oder das Stück Wirbelsäule berührt. Denselben Versuch, wie an dem Kopfe des Ochsen, hat Aldini an der Leiche eines hingerichteten Verbrechers und an denen von Menschen angestellt, die natürlichen Todes gestorben waren. Man nähere die wohlbenetzte Hand den Ischiadnerven des Thieres, »si la grenouille est très-vigoureuse, »les nerfs cruraux s'approchent peu-à-peu de la main, et il y a de »fortes contractions au point du contact. Cette expérience démontre »l'existence d'une espèce remarquable d'attraction, observée non seule»ment par moi-même, mais aussi par ceux que j'ai invité à vouloir »bien la répéter. Le célèbre Félix Fontana, auquel j'avais fait part »en Italie de mes observations, m'a déjà écrit depuis que je suis à »Paris, qu'il avait vérifié ce fait, et qu'il s'occupait de son analyse. »En répétant à Oxford quelques-unes de mes expériences sur le gal-

[1] Allerdings doch schon v. Humboldt: S. oben S. 77.

»vanisme, en présence du professeur Christopher Pegg, et du docteur »Bancroft, j'ai pu constater une assez forte attraction galvanique, »produite par l'approchement des nerfs cruraux d'une grenouille, aux »muscles abdominaux d'un lapin. Dans la série d'expériences que j'ai »entreprises dernièrement dans l'amphithéatre anatomique des hôpitaux »Guy et St. Thomas, à Londres, j'ai eu occasion de m'assurer encore »davantage de ce phénomène. Les expériences, variées et modifiées »au gré de quelques professeurs qui y assistèrent, ont constamment »fourni les mêmes résultats.«

Diese Proben mögen zunächst genügen, zu zeigen, wefs Geistes Kind Aldini als Forscher gewesen sei. Seine Versuche sind völlig werthlos. Ich rede nicht davon, dafs er sich Volta's eindringliche Mahnungen in den Briefen des Bürgers N. N. von Como wenig genug zu Herzen genommen, um sechs Jahre später noch mit Versuchen als entscheidend für die thierische Elektricität auftreten zu können, in denen nicht nur ein Heer von Ungleichartigkeiten der Volta'schen Deutungsweise Thür und Thor offen liefs, sondern in die sogar durch das Salzwasser absichtlich dergleichen eingeführt wurden; nicht von der groben Falle mit der thierisch-elektrischen Anziehung von Froschnerv und Menschenfinger oder Kaninchenmuskel, in die er sich, sei's wissentlich, sei's unwissentlich, begeben und Andere hineingelockt hat.[1] Sondern die Sache ist diese, dafs aus keinem seiner Versuche mit Gewifsheit erhellt, ob die Wirkungen von den Massen warmblütiger Gewebe, oder von dem Frosche selbst ausgingen, dessen Muskeln sich stets mit im Kreise befanden. Wollte Aldini die elektromotorische Wirksamkeit jener Massen selbst mit dem Froschpräparat untersuchen, so mufste er sie in einen Bogen einschalten, dessen Enden allein den Nerven des sonst wohl isolirten stromprüfenden Thieres berührten.[2] Und solche Vorsichtsmafsregeln versäumend, werden Vorkehrungen getroffen, um das Hirngespinnst einer »électricité générale ..... qui »maîtrise tous les corps de la nature« durch Isolation der ganzen in sich selbst die stärksten Fehlerquellen tragenden Anordnung vom Frosche abzuhalten. Der einzige Versuch, der dafür sprechen könnte, dafs die warmblütigen Gewebemassen hier mehr als die blofse Rolle unwirksamer leitender Bögen spielten, ist der, wo ein Frosch beim Schliefsen durch

[1] Vergl. übrigens, sein Anrecht an dieser vermeintlichen Beobachtung betreffend, oben S. 69 Anm. 1.

[2] Matteucci hat bereits auf diesen Fehler Aldini's aufmerksam gemacht. Archives de l'Électricité, par M. A. de la Rive. Supplément à la Bibliothèque universelle de Genève. t. II. 1842. p. 445.* — Ibid., t. III. 1843. p. 6.* — Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux. Paris 1844. p. 53.*

einen Kalbskopf keine Zuckung erfuhr, hingegen wohl, als zwei oder drei nach dem Bilde der Säule zusammengefügt wurden.

Es ist früher bereits angedeutet worden (S. oben S. 64 Anm.), dafs Aldini in der Geschichte der Zuckung ohne Metalle Verwirrung anzustiften gesucht hat, um für sich selbst desto leichter im Trüben zu fischen. Zu diesem Punkte kommen wir jetzt. Er nämlich, dem als Neffen Galvani's, als Theilnehmer an seinen Arbeiten gerade in jener Zeit, der fortwährend seines Umgangs genofs, endlich als Erben seiner sämmtlichen Handschriften, die Ansprüche seines Oheims auf die in Rede stehende Entdeckung unmöglich unbekannt sein konnten, der nothwendiger Weise den »*Trattato dell' uso ec.*« und den Nachtrag dazu unzähligemal, ja unablässig in Händen mufste gehabt haben; [1] — er sucht, bauend vermuthlich auf die äufserst geringe Verbreitung dieser beiden Schriften, die schwere Zugänglichkeit überhaupt der Italiänischen Literatur jener Zeit, die bekannte Fahrlässigkeit der Französischen Gelehrten in Dingen der Geschichte der Wissenschaft, endlich auf das ihm hier von vorn herein natürlich zustehende Vertrauen — durch allerlei Winkelzüge der Meinung Eingang zu verschaffen, es habe zwar Galvani jenen Versuch ausgesonnen und vorgeschlagen, aber erst er, Aldini, habe denselben ins Werk gesetzt. Der sechste Lehrsatz ist: »»La seule application des nerfs sur les muscles, sans l'intermédiaire »»d'aucun corps, peut développer le galvanisme.« Plusieurs phy»siciens, et nommément Galvani, Valli, Humboldt, Volta, ont »cherché à obtenir cet important résultat. Le professeur Volta même, »dans une lettre qu'il m'adressa en 1798, dans le journal Brugnatelli, »reconnaît que les diverses parties animales, indépendamment des mé»taux, peuvent exciter le galvanisme.« [2] Galvani, peu de mois avant »sa mort, proposa deux méthodes ingénieuses, qu'il me démontra lui»même. Malheureusement tout cela a été inutile pour détruire l'incré»dulité de plusieurs physiciens qui ont confondu longtems le galvanisme »avec l'électricité des métaux, croyant que toute contraction part de »l'irritation métallique. C'est pour cela que j'annonce avec confiance »ma méthode qui met tout le monde à portée de constater par soi»même la vérité de ma proposition.« [3] Und welches ist das gerühmte Verfahren? Kein anderes als das dem Leser längst bekannt gewordene, welches Volta Valli zuschreibt (S. oben S. 71): man hält den Frosch mit einer Hand am Stück Wirbelsäule, und biegt mit der andern die Ferse gegen die Ischiadnerven; beiläufig das allerschlechteste von allen,

[1] Keines von beiden geschieht in Aldini's Werk mit einer Sylbe Erwähnung.

[2] Aldini meint hier die »Lettere del Cittadino ec.«

[3] Essai etc. sur le Galvanisme, p. 11. 12.

da es unfehlbar Zerrung der Nerven mit sich bringt, an denen die ganze Last der unteren Extremitäten hängt. Vielleicht kommt es daher, dafs Aldini den Versuch in öffentlichen Vorlesungen mehr als zweihundertmal hintereinander an demselben Frosch hat zeigen können. Allerdings versichert er, dafs der Erfolg ausbleibe, wenn man einen isolirenden Körper zwischen Nerv und Muskel bringe. Ohne Volta zu nennen, empfiehlt er die Achillessehne als den Ort der gröfsten Wirksamkeit. Nach einigen unbedeutenden Abänderungen des Versuchs kommt er nun zur Sache: »Je crois convenable d'avertir que »le professeur Galvani et moi avions cherché depuis longtems à »obtenir des contractions sans l'intervention des métaux. Nos recherches »étaient déjà avancées (?) dès l'an 1794; et ce fut d'après son in»vitation, que je démontrai ensuite ce fait dans mes leçons publiques »de physique expérimentale, à l'Institut des sciences de Bologne, comme »le prouve un de mes Mémoires, inséré à cette époque dans les »Opuscules de Milan. »J'ai plongé une grenouille préparée dans » »une forte solution de muriate de soude, jusqu'à ce qu'il s'excitât de » »vives contractions dans les muscles. Alors je la retirai de la disso» »lution; et, prenant à la main une extrémité, je laissai pendre l'autre » »librement. Dans cette situation, avec un cylindre de verre j'élevai » »les nerfs de manière qu'ils ne touchaient point les muscles: j'ôtai » »tout-à-coup le cylindre; et toutes les fois que les nerfs et la moëlle » »épinière tombaient sur les parties musculaires, il s'excitait une con» »traction. Il n'est pas difficile d'éloigner le soupçon d'un stimulant » »mécanique, produit par l'action du sel ou la chute des nerfs; car » »j'ai laissé tomber les mêmes nerfs sur les muscles d'une autre gre» »nouille préparée, et je n'ai obtenu aucun mouvement, quoique l'action » »du sel fût la même, et la chute encore plus violente.« « [1] Man erkennt hierin leicht den ersten Versuch aus dem »*Trattato dell' uso ec.*« (S. oben S. 62), dem aber in diesem Werke alsbald ein ganz untadelhafter, ohne die mifsliche Einmischung des Salzwassers angestellter folgt. Aldini fährt fort: »Je ne dois pas dissimuler que la seule »action des sels produisait souvent des contractions spontanées dans »les grenouilles qui y étaient plongées. Aussi a-t-il fallu prendre »une foule de précautions pour assurer la fidélité des résultats de ces »expériences. Ceci me fit abandonner toute tentative jusqu'au moment »où, par la même méthode, j'ai obtenu les mêmes contractions sans »employer de solutions salines. Je crois que la physiologie doit »au professeur Galvani les premières idées (?) qui regardent

[1] Ibid., p. 15. 16.

»l'excitation des convulsions musculaires sans les métaux; »et je me propose de détailler dans mon histoire du galvanisme« — die nie erschienen ist — »ses travaux multipliés concernant cet objet.« [1] Sehr schlecht stehen Aldini hier diese Umschweife, diese halben Aussagen, diese unbestimmten Angaben. Er hatte hier nichts zu vermuthen, nichts zu glauben, sondern nur auf das allerbestimmteste zu wissen, als Augenzeuge denkwürdiger Miterlebnisse. Der Plagiar ist der Todfeind nicht nur des arbeitenden, sondern auch des geschichtschreibenden Physikers; und ich habe um so weniger umhin gekonnt, Aldini als solchen zu bezeichnen, als ich, unvermögend in Gherardi's übertriebene Lobpreisungen Galvani's einzustimmen, dem Andenken dieses aufrichtigen Forschers wenigstens dadurch zu huldigen wünschte, dafs ich ihn in den vollen Besitz der Verdienste, die er wirklich gehabt hat, nach Kräften wieder einzusetzen suchte.

Im weiteren Verfolge der ersten Abtheilung seines Werkes entblödet sich Aldini nicht, vier Jahre nach Entdeckung der Säule fortdauernd zu behaupten, dafs in dem Falle ungleichartiger Metallbelege die Zuckung doch nicht von den Metallen, sondern von der thierischen Elektricität ausgehe. [2] Wenn ich hinzufüge, dafs er, um die Einerleiheit der Lebensvorgänge und des in der Säule stattfindenden Processes darzuthun, die feuchten Schichten derselben mit Brown'schen Reizmitteln, Opiumlösung und alkoholischem Chinaextracte speist, und ihre Wirkung dadurch auf eine ganz überraschende Weise erhöht findet; [3] dafs er andererseits die ausnehmende Lebenskraft der Fische davon ableiten zu können glaubt, dafs diese Thiere in einem mit Kochsalz geschwängerten Mittel leben, weil nämlich Kochsalzlösung für Säulen einen vortheilhaften Zwischenleiter abgiebt; [4] dafs diese und ähnliche die Hauptgründe sind, auf welche er in pomphaft verschwommenen Ausdrücken und mit philanthropischer Zärtlichkeit ein neues Gebäude der Heilkunde aufzuführen sich bestrebt: so hab' ich gewifs dem »*Essai sur le Galvanisme*« mehr als sein Recht widerfahren lassen, den Mann hinlänglich klar geschildert, und brauche dem Urtheil des Lesers über den Werth beider nicht erst noch vorzugreifen.

Die Pariser Akademie der Wissenschaften ernannte Hallé und Biot zu Commissarien, um Aldini's Versuche zu prüfen. Ihr beistimmender Bericht, in welchem übrigens Galvani die Ehre der Entdeckung

[1] Ibid., p. 16.
[2] Ibid., p. 17. 54.
[3] Ibid., p. 36.
[4] Ibid., p. 49. 4°.

der Zuckung ohne Metalle unverkürzt zugestanden wird,[1] findet sich unter andern in Aldini's Werk, S. 50 ff.*, und in Gilbert's *Annalen der Physik.* 1803. Bd. XIII. S. 460*, ins Deutsche übersetzt abgedruckt. Eine fernere Bestätigung des Versuchs in der ursprünglichen Form des »*Trattato dell' uso ec.*«, aber ohne Salzlösung, von Biot, s. in Fechner's Uebersetzung seines *Lehrbuchs* u. s. w. Bd. III. S. 6. Anm.*

Aldini's Werk ist als die letzte bedeutende Regung der thierischen Elektricität zu betrachten, welche hier, für 23 Jahre, von der Bühne der Wissenschaft abtritt. Einestheils nahm das überwiegende Interesse, welches die mannigfaltigen Erscheinungen der Säule darboten, von nun an fast alle Kräfte in Anspruch; anderntheils war der Geschmack an den sich keiner strengen Betrachtungsweise fügenden Froschschenkelversuchen überhaupt nachgerade erschöpft. Dazu kam der Eindruck, den die bittere Enttäuschung nach solchem Rausch hervorzubringen nicht verfehlen konnte; überdies dafs, bei der damaligen Beschränktheit der stromprüfenden Mittel, mit dem Galvani'schen Versuch ohne Metalle beim besten Willen nicht leicht etwas anzufangen war. Endlich brach Volta's Lehre sich begreiflich mit jedem Tage mehr Bahn; und wer dieser anhing, für den bot jener Grundversuch genau genommen nicht mehr Interesse dar, als etwa, dafs ein organischer Körper der Schwere und anderen allgemeinen physikalischen Gesetzen gehorcht: obschon allerdings, bei gründlicherer Verfolgung des Thatbestandes, sich bald hätte ergeben müssen, dafs die thierischen Glieder ihre elektromotorische Eigenschaft, nicht blos ihre Zuckungsfähigkeit, einige Zeit nach dem Tode einbüfsen, ohne dafs ein Grund einzusehen ist, weshalb nun keine Ungleichartigkeit mehr vorhanden sein solle; und obschon man allenfalls bereits damals im Stande gewesen wäre, am Frosch die stets sich gleich bleibende Richtung des Stromes unter gewissen Bedingungen auszumitteln. Genug, die thierische Elektricität gerieth entschieden in Vergessenheit, und wir haben bis 1827, wo Nobili die elektromagnetische Wirkung des Froschstromes darthat, nur noch einzelnstehende Bestätigungen des Grundversuchs ohne Metalle zu verzeichnen.

Es sind mir dergleichen bekannt geworden von Lehot[2] in Paris,

[1] In die Irre geführt worden sind aber z. B. durch Aldini Nicholson (Essai etc. sur le Galvanisme. p. 193.* — Gilbert's Annalen der Physik. 1803. Bd. XIII. S. 217.*) und Becquerel (Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme. t. IV. Paris 1836. p. 228.*) Im geschichtlichen Theile seines Werkes (Ibid., t. I. 1834. p. 87. 135.) hatte jedoch Becquerel Galvani als Urheber genannt.

[2] Seine Arbeit ist vom Anfang des Jahres 1801 und findet sich in Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. IX. S. 188,* wie auch in Reinhold's Geschichte des Galvanismus u. s. w. S. 104.*

der noch vor Aldini fällt und sich gleichartiger Metallbogen bediente; von Bunzen, Heidmann, Everard Home, [1] Bellingeri [2] in Turin, Paul Erman, Pfaff und Johannes Müller.

Bunzen in Kopenhagen verband in ähnlicher Anordnung wie in Volta's »couronne de tasses« eine Reihe von Fröschen nach dem Bilde der Säule zu gemeinsamer Wirkung, indem er Muskeln und Nerven je zweier Präparate durch Stücke von Fungus Agaricus, die zuvor mit Salmiaklösung getränkt waren, in leitende Verbindung setzte. Er ist demnach, worauf er auch selbst besteht, als der Erfinder der Froschsäule anzusehen. [3] Den Kreis vervollständigte Muskelfleisch von einer jungen Katze, oder eine umgebogene silberne Sonde als gleichartiger Bogen. [4] Die Oeffnungszuckung war auf diese Weise sehr leicht und sicher zu beobachten. Der einfache Versuch ohne Metalle glückte Bunzen nur an vier Thieren unter 53 in der Weise, dafs von zweien Schenkeln die Nerven des einen mit den Muskeln des andern in Berührung gebracht wurden und umgekehrt. [5]

Heidmann in Wien bemühte sich mittelst des Froschpräparats die galvanische Spannungsreihe der feuchten Leiter zu ermitteln, [6] wobei er sich zur Schliefsung des Kreises des Platins oder der Kohle bediente. Die lebhaften Zusammenziehungen, die er erhielt, wenn er von zweien neben einander befindlichen Präparaten die Nerven des einen auf ein Stück Muskelfleisch gelagert hatte, und nun zwischen diesem und den Nerven des andern Präparates schlofs, dessen Schenkel den des ersten berührte, schrieb er der elektromotorischen Wirkung zwischen Nerv und Muskelfleisch zu. [7]

P. Erman versuchte 1820 in folgender Weise die Zuckung ohne Metalle nach dem Grundsatze der Zamboni'schen zweigliedrigen Kette zu erklären: »Die Nerven, concentrirt bei ihrer Wurzel im Gehirn, dann »sich verzweigend in ihrem Fortlauf zur Peripherie, gäben an und für »sich durch die hier geringe, dort gröfsere Menge ihrer Berührungs»punkte mit der übrigen thierischen Masse, die Bedingungen elektrischer

[1] Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 4°. For the year 1809. p. II. p. 386.* — Gilbert's Annalen der Physik. 1820. Bd. LXIV. S. 363.*

[2] Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino. 1818. t. XXIII. p. 184.* (27. Marzo 1816.)

[3] S. unten, Kap. II. §. I. S. 105. — 2. Abschn. Kap. I. §. III. 4.

[4] Gilbert's Annalen der Physik. 1807. Bd. XXV. S. 155.* (1805.)

[5] Ebendas. 1803. Bd. XV. S. 340.*

[6] Vergl. unten, 2. Abschn. Kap. II. §. III. 2. (IV)

[7] Gilbert's Annalen der Physik. 1805. Bd. XXI. S. 106. T. 1. Fig. 6.*

»Ladung, ohne dafs man (wie bisher) nöthig hätte, sich nach einem »dritten chemisch verschiedenen Factor umzusehen.« [1]

In seiner Abhandlung über den Galvanismus in GEHLER's *physikalischem Wörterbuche* [2] spricht sich PFAFF, der dem Gange dieser Verhandlung von Anfang an mit Theilnahme gefolgt war, schliefslich gleichfalls dahin aus, dafs der Streit über die Möglichkeit von Zuckungen durch Ketten allein aus thierischen Gliedern längst geschlichtet, und durch eine Menge von Versuchen sehr verschiedener Beobachter die Wirksamkeit solcher Ketten aufser Zweifel gesetzt sei. Nachdem er sodann die von v. HUMBOLDT hingestellten Fälle der GALVANI'schen Zuckung ohne Metalle dargelegt hat, führt er an, dafs es ihm insbesondere oft gelungen sei, in folgender Zusammenstellung, welche v. HUMBOLDT unwirksam gefunden zu haben glaubte, Zuckung zu beobachten, wenn nämlich der vom Rumpf getrennte Ischiadnerv in einer etwas gröfseren Strecke durch schnelles Anbiegen dem Schenkel genähert werde; doch macht er die Bedingung geltend, von der v. HUMBOLDT nichts erwähnt, dafs der Schenkel noch mit der Haut überzogen sei: die Zuckung bleibe aus, wenn der Nerv mit den Muskeln unmittelbar in Berührung gesetzt werde. Was die Ursache der Erscheinung betrifft, so glaubt PFAFF, dafs in den Bau des Muskels so verschiedenartige und in ihrer Getrenntheit noch vollkommen unterscheidbare Theile, wie Zellgewebe, aponeurotische Haut, Blutgefäfse, Nerven und eigentliche Muskelfasern eingehen, dafs es nicht schwer fallen könne, auch bei den einfachsten thierischen Ketten dieser Art immer noch zum wenigsten drei ungleichartige Glieder, die zu einer Kette an einander gereiht sind, nachzuweisen.

JOHANNES MÜLLER hat seine Erfahrungen über diesen Gegenstand in dem *Handbuch der Physiologie* an zwei Stellen niedergelegt. [3] Abgesehen von mehreren Versuchen verwickelterer Art, bei welchen bald ein Metall und der menschliche Körper, bald lebende Frösche, bald ein Stück von einem frischgetödteten oder bereits faulenden Frosch u. d. m. in die Kette eingehen, heifst es daselbst: »Endlich bewirkte ich an »einem blofsen Unterschenkel mit heraushängendem Stamm des Schenkel»nerven selbst Zuckung, wenn ich den Nerven mit einem isolirenden »Stäbchen dem Unterschenkel näherte und mit dem Nerven die nasse »Oberhaut des Unterschenkels berührte. Auch erfolgte eine Zuckung, »wenn ich den Nerven vom Unterschenkel wieder abzog. Dieser Ver»such, der auch v. HUMBOLDT schon einmal in anderer Art gelang, ist

[1] GILBERT's Annalen der Physik. 1820. Bd. LXIV. S. 51. 52.*
[2] A. a. O. Bd. IV. 2. Abth. 1828. S. 704. §. 47.*
[3] A. a. O. Bd. I. 3. Aufl. 1838. S. 70. 71. 623—626.*

»äufserst merkwürdig, und der einfachste galvanische Versuch, den »man an einem Frosche machen kann. Es ist gar kein Metall dazu »nothwendig; der Unterschenkel mit heraushängendem Schenkelnerven »mufs aber auf einer Glasplatte liegen. Man hebt den Nerven auf »einem Federkiel sanft auf und berührt mit dem Nerven nur den Unter»schenkel, den Nerven zurückbeugend, so erfolgt zuweilen eine Zuk»kung.« [1] Merkwürdig ist bei dieser, wie bei der Pfaff'schen Art, den Versuch anzustellen, der Umstand, dafs die Zuckung versagte, wenn der Muskel allein berührt wurde, und nur eintrat, wenn sich noch Haut zwischen demselben und dem Nerven befand. Was die Erklärung des Versuchs anlangt, so läfst J. Müller neben der Volta'schen Ansicht von der elektromotorischen Ungleichartigkeit der thierischen Gewebe die Möglichkeit offen, dafs durch den Lebensprocefs freigewordene Elektricität nach ihrer Vertheilung beim Contact gewisser Theile überströme und die Zuckungen hervorrufe. [2] Ihm gehört im Sinne der ersten Deutung der glückliche Ausdruck, bei der Galvani'schen Zuckung ohne Metalle verhielten sich die thierischen Theile als Elektromotor, Elektrometer und Leiter zugleich. [3]

[1] Ebendas., S. 70.
[2] Ebendas., S. 71.
[3] Ebendas., S. 625.

## Zweites Kapitel.

## Nobili's Entdeckung der elektromagnetischen Wirkung des Froschstroms im Jahre 1827 und Matteucci's thierisch-elektrische Arbeiten bis zum Jahre 1840.

### §. I.

### Nobili's Arbeiten über den Froschstrom.

Erst als durch Oerstedt's glänzende Entdeckung (1820) der längst gemuthmafste geheime Zusammenhang zwischen Elektricität und Magnetismus ans Licht gezogen war; erst als kurz darauf die neue Wechselwirkung, einen Augenblick vorher noch selbst der Gegenstand bedächtiger Nachforschung, in Schweigger's und Poggendorff's Händen alsbald zum feinsten und bequemsten Prüfungsmittel auf die Gegenwart eines elektrischen Stromes überhaupt geworden; erst jetzt sah sich die »Metallelektricität« in Stand gesetzt, das Unrecht zu vergüten, dessen sie sich an ihrer zärteren Zwillingsschwester, der thierischen Elektricität, in frühen Tagen schuldig gemacht.

Leopoldo Nobili, damals in Reggio, hatte 1825, durch Anwendung der Ampère'schen astatischen Doppelnadel, [1] dem Schweigger'schen Multiplicator einen bis dahin ungeahnten Grad von Empfindlichkeit verliehen. Der erste Gebrauch, den er selbst davon machte, war, dafs er elektrische Ströme in den Nerven aufsuchte. [2] Seine Bemühungen blieben vergeblich; an einer späteren Stelle dieses Werkes wird ihrer ausführlicher Erwähnung geschehen. [3] Im Laufe einer Untersuchung

[1] Ampère in Annales de Chimie et de Physique. 1821. t. XVIII. p. 320. pl. III. fig. 15. — Ampère et Babinet, Exposé des nouvelles découvertes sur l'Électricité et le Magnétisme. Paris 1822. p. 29. fig. 14.

[2] Memorie ed Osservazioni edite ed inedite del Cavaliere Leopoldo Nobili ec. Firenze 1834. vol. I. p. 7.

[3] S. unten, 3. Abschn., Kap. VI. §. II.

über Elektricitätserregung bei chemischen Verbindungen schien es ihm bald nachher, als könne der Frosch zur Entscheidung einiger Fragen ein noch unversucht gebliebenes werthvolles Hülfsmittel abgeben. Während er bemüht war, durch Feststellung der relativen Empfindlichkeiten dieses Rheoskops und seines Multiplicators eine sichere Grundlage für die bezweckte Anwendung zu gewinnen, bot sich ihm die Gelegenheit dar, die Wahrnehmung der Galvani'schen Zuckung ohne Metalle in der alten Volta'schen Weise zu erneuern: ein nach Galvani's Vorschrift zugerichteter, mit Wirbelsäule und Füfsen in zwei Gefäfse mit Wasser oder Salzlösung tauchender Frosch zuckte, wenn zwischen denselben mit einem Asbest- oder Baumwollendochte geschlossen ward. Nobili kam auf den glücklichen Gedanken, zu versuchen, ob sein Multiplicator wohl im Stande sein würde, den Strom, der diese Wirkung hervorbringt, anzuzeigen: zu seinem Erstaunen zuckte der Frosch beim Schliefsen abermals, während die Nadel unbeweglich blieb. Gleichsam von Eifersucht getrieben, wie er selbst sagt, sein Rheoskop auf diese Weise an Empfindlichkeit überboten zu sehen, wendet Nobili alsbald allen Fleifs auf die Herstellung eines neuen, noch vollkommneren Apparats. Seine Bemühungen waren nicht erfolglos: jetzt erhielt er, mit Salzlösung in den Gefäfsen, einen ersten Ausschlag von 10°, 20°, ja sogar 30°. Enthielten dieselben Wasser, so betrug die Bewegung nur wenige Grade; und auch diese Ablenkung verschwand, so wie die Wasserstrecke irgend verlängert wurde, während ein kräftiger Frosch unter diesen Umständen noch fortfuhr, durch schwache Zuckungen seine überlegene Empfindlichkeit darzuthun. Stets aber war die Multiplicatorwirkung so gerichtet, dafs sie einen Strom von den Muskeln zu den Nerven oder von den Füfsen zu dem Kopfe in dem Frosch anzeigte. Diesen Strom, denselben, der die Galvani'sche Zuckung ohne Metalle erzeugt, nannte Nobili »la corrente propria della rana, courant de la grenouille«; wir nennen ihn Froschstrom. [1]

Man erfährt hier beiläufig nicht, wie die in die Flüssigkeit der Gefäfse tauchenden Multiplicatorenden beschaffen waren, indessen läfst sich aus einer späteren Stelle der Abhandlung, [2] wo elektrochemische Versuche beschrieben werden, entnehmen, dafs dieselben von Platin und auf ihre Gleichartigkeit geprüft gewesen seien, wie sich dies auch nicht anders von einem so sorgfältigen Beobachter erwarten läfst.

[1] Annales de Chimie et de Physique. Juillet 1828. t. XXXVIII. p. 225. — Bibliothèque universelle etc. Ancienne Série. Sciences et Arts. 1828. t. XXXVII. p. 10. — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1828. Bd. XIV. S. 157. — Memorie ed Osservazioni ec. vol. I. p. 67. — (Abhandlung I.)

[2] Annales de Chimie et de Physique. Ibid., p. 239.

Die Arbeit, worin Nobili diese wichtige Entdeckung bekannt machte, und welche sich an den angeführten Stellen befindet, ist vom 3. November 1827 gezeichnet. Seine ferneren Wahrnehmungen über den Froschstrom sind theils in derselben, theils in einer späteren, nicht minder werthvollen, von Reggio am 1. November 1829 gezeichneten enthalten, worin er eine genaue Zergliederung der elektrischen Reizversuche an Froschschenkeln giebt. [1] Ich stelle die Ergebnisse beider hier zusammen, wie es das Bedürfnifs der Uebersicht erheischt, wobei ich mich auf die Französischen Annalen der Chemie und Physik, als auf die am allgemeinsten zugängliche Quelle, beziehe.

Der Froschstrom ist nicht blos im Augenblick der Schliefsung, sondern dauernd vorhanden; in einem einzelnen Falle erhielt Nobili 5° beständiger Ablenkung. Die Wirkung nimmt zu mit der Anzahl der Frösche, die man nach dem Gesetze der Säule geordnet in den Kreis einführt; ein zweiter Frosch gab 8°, ein dritter 11° beständiger Ablenkung (Abhandlung I. p. 238). [2] Das Dasein des Stromes ist von der Fähigkeit des Frosches, mit Zuckung darauf zu antworten, völlig unabhängig (ebendas.), was daraus hervorgeht, dafs die Multiplicatorwirkungen mehrere Stunden anhalten, während die erstere bekanntlich nach wenigen Minuten, höchstens einer Viertelstunde, verloren zu gehen pflegt (ebendas., 236. — Abhandlung II. S. 86). Dasselbe läfst sich ohne Multiplicator nachweisen, wenn man zwei Frösche, von denen der eine frisch, der andere schon seit längerer Zeit zubereitet ist, so zum Kreise verbindet, dafs bald die Nerven des einen die Muskeln des anderen, bald hingegen die gleichnamigen Theile einander berühren; im ersten Falle zuckt der frisch zubereitete unter dem Einflusse der vereinigten Ströme, im zweiten findet keine Zuckung statt, weil der ältere Frosch noch immer einen hinreichend starken Strom entwickelt, um den des frischen zum gröfseren Theile aufzuheben (II. p. 86). Sind beide Thiere frisch zugerichtet, so zucken natürlich beide im ersten Falle, im zweiten Falle bleiben auch jetzt beide unbewegt (I. p. 235). Wenn man sich des Frosches als stromprüfenden Mittels für zarte hydroelektrische Ströme bedienen will, hat man diese, so lange es sich allein um ihre Entdeckung handelt, nur durch die Nerven und das anhängende Stück Wirbelsäule zu leiten; um aber auch ihre Richtung zu bestimmen, führt man sie durch Muskel und Nerv zugleich, und zwar bald in der

[1] Annales de Chimie et de Physique. Mai 1830. t. XLIV. p. 60. * — Schweigger's Journal der Chemie und Physik. Bd. LX. S. 265. * — Memorie ed Osservazioni ec. vol. I. p. 135. * — (Abhandlung II.)

[2] S. oben S. 100 den entsprechenden Versuch von Bunzen am physiologischen Rheoskop.

einen, bald in der anderen Richtung. Da in dem einen Falle der Froschstrom sich mit dem zu prüfenden Strome vereinigt, in dem anderen sich davon abzieht, so giebt die Verschiedenheit in der Stärke der Zuckungen ein ziemlich sicheres Kennzeichen der Richtung des Stromes ab (ebendas., p. 236 ff.). Was das Eintreten und Ausbleiben der Zuckungen beim Oeffnen und Schliefsen der einfachen Froschkette betrifft, so stellt Nobili fest, dafs während die Mehrzahl der frischzubereiteten Frösche nur die Schliefsungszuckung zeigt, doch auch ausnehmend kräftige Thiere vorkommen, die auf das Oeffnen der Kette antworten; einige wenige endlich zeigen nur die Oeffnungszuckung (II. p. 85). Die Betrachtungen, die sich für ihn an dies Verhalten eines von den Füfsen nach dem Kopfe gerichteten schwachen Stromes mit Bezug auf sein Gesetz der Zuckungen auf elektrischen Reiz knüpfen (ebendas., p. 87 ff.), werden später mitgetheilt werden. [1]

Dies sind sämmtliche Thatsachen, die Nobili über den Froschstrom ans Licht gezogen hat. Bei Durchlesung seiner Arbeiten läfst sich leider kaum verkennen, dafs er unter dem Einflufs der vorgefafsten Meinung stand, der Froschstrom müsse eine von den Lebensvorgängen unabhängige, erst durch die physischen Verhältnisse des zubereiteten Froseches bedingte Erscheinung sein. (I. p. 238. — II. p. 88). Diese Ansicht bei ihm festzusetzen, mochte das verneinende Ergebnifs jener früheren Versuchsreihe über elektrische Ströme in den Nerven vorzugsweise wirksam gewesen sein. Er stützt dieselbe auf die Wahrnehmung, dafs auch solche Frösche, die auf viel stärkere Ströme, als der Froschstrom ist, zu antworten aufgehört hätten, noch immer einen Strom entwickeln (II. p. 86); indessen ist sehr wahrscheinlich, dafs unter diesen Strömen keine anderen verstanden sind, als die der Kupferplatin-, Kupfereisen-, höchstens Kupferzinkbögen, deren er sich zu seinen Reizversuchen durchweg zu bedienen pflegte (ebendas., p. 66. 67. 70. 75. 77. 78. 88). Alsdann ist zu erinnern, dafs so schwache Ströme, wenn sie auch den Froschstrom an Stärke weit übertreffen, doch unvermögend sind, ein Mafs für die letzten Spuren der erlöschenden Reizbarkeit eines Muskels abzugeben.

Die Theorie sodann, die Nobili von dem physikalischen Vorgange aufstellt, der dem Froschstrom zu Grunde liegen soll, zeugt abermals von einem Vorurtheile, dem er sich gefangen gegeben hatte. Er huldigte der Ansicht, alle Ströme seien thermoëlektrischen Ursprungs (I. p. 245. Anm. — II. p. 87). Bei den Leitern zweiter Klasse verliefen seiner Meinung nach Ströme dieser Art vom wärmeren zum kälteren Theile

[1] S. unten, 2. Abschn., Kap. II. §. III. 2. (VI) C.

(I. p. 244. 245). Da er nun, ganz willkürlich und ohne weitere Untersuchung, den Nerven als das positive, die Muskeln als das negative Glied der Froschkette betrachten zu dürfen glaubte (II. p. 85), so schrieb er diese elektrische Vertheilung der stärkeren Abkühlung der kleineren Masse des Nerven, im Verhältnifs zur geringeren Abkühlung der gröfseren Masse der Muskeln durch die Verdunstung zu (II. p. 87).

Diesen Aussprüchen einer solchen Auctorität ist es wohl beizumessen, dafs die Entdeckung der elektromagnetischen Wirkung des Froschstroms so wenig Aufsehen erregte und einen so geringen Einfluſs auf die Behandlung der thierischen Elektricität gewann, obschon gerade damals von vielen Seiten her der Frage nach elektrischen Strömen in den Nerven und Muskeln die gespannteste Aufmerksamkeit zugewandt war. Aber während, wie die Folge lehren wird, der Froschstrom die Beantwortung derselben im Keime enthielt, sieht man eine Schaar von Forschern vielmehr nach wie vor, den hier gegebenen Wink verschmähend oder seiner unbewufst, auf alle nur sonst erdenkbaren Weisen vergeblich bemüht, ihren theoretischen Traumgebilden einen körperlichen Gehalt zu verleihen. [1] Der einzige Schriftsteller, der die Wichtigkeit von Nobili's Entdeckung gebührend hervorhebt, ja besser zu würdigen verstand, als ihr Urheber selbst, ist Fechner in der lichtvollen Zusammenstellung der Thatsachen des physiologischen Galvanismus, welche das letzte Kapitel seines *Lehrbuchs des Galvanismus und der Elektrochemie* in der Uebersetzung von Biot's *Lehrbuch der Experimental-Physik* u. s. w. bildet. [2] De la Rive begreift nicht, und beklagt es tief in Nobili's Nekrolog, dafs dieser Gegenständen von so beschränktem Interesse, wie dem Froschstrome und dem Gesetze der Zuckungen, so viel Zeit und Mühe habe opfern können; [3] er schliefst sich der Vorstellung eines thermoëlektrischen Ursprungs der Erscheinung an. [4] Magendie frägt gar noch 1838: »Ne serait-ce pas plutôt un »courant thermoélectrique dû à la différence de tems que les muscles »et le nerf, à raison de leurs masses inégales, employent à se des»sécher et conséquemment à se refroidir par le fait de l'évaporation?« [5] Seiner Meinung folgt auch F. Capitaine, in seiner *Thèse: »De l'influence des courants électriques sur les corps organisés, et de leur production spontanée pendant la vie.«* Paris 1839. 4°. p. 7. 8.*

[1] S. unten, 3. Abschn., Kap. IV. §. 1. — Kap. VI. §. 11.

[2] A. a. O. 2. Aufl. Bd. III. Leipzig 1829. S. 502.*

[3] Bibliothèque universelle etc. Ancienne Série. Sciences et Arts. 1835. t. LIX. p. 224.*

[4] Ibid., 1831. t. XLVI. p. 103.*

[5] Précis de Physiologie. Bruxelles 1838. p. 139.*

## §. II.

## Matteucci's erste thierisch-elektrische Untersuchungen.

Carlo Matteucci, aus Forli im Kirchenstaat gebürtig, jetzt in Pisa, hat es die organische Physik zu verdanken, dafs sie endlich zum Bewufstsein des Schatzes gekommen ist, der hier zu heben war. Matteucci's Arbeiten über den Froschstrom beginnen erst 1837; vielleicht erscheint es jedoch nicht unangemessen, wenn ich der Darlegung der uns zunächst angehenden Leistungen dieses Forschers, welche den unsrigen zum Ausgangspunkte dienen werden, einen kurzen Ueberblick über seine frühere Thätigkeit in demselben Gebiete voraufschicke, so weit derselbe zur richtigeren Würdigung ihrer späteren Entwickelung beitragen kann.

Matteucci war von Anfang an von dem entgegengesetzten Vorurtheile von dem beseelt, welches Nobili's Fortschritt gehemmt hatte. Schon in seinen ersten Arbeiten giebt sich das Bestreben kund, physiologische Erscheinungen aller Art auf irgend eine Weise in einen mehr oder weniger ausgesprochenen Zusammenhang mit dem Spiele elektrischer Kräfte zu bringen.

So bemüht er sich in seinem frühesten mir bekannt gewordenen hiehergehörigen Aufsatze [1] zu beweisen, dafs man den Gang der thierischen Fäulnifs verlangsamen und ihre Erzeugnisse abändern könne, indem man die Organtheile auf Kupfer- oder Zinkblech legt, wodurch sie, nach Bellingeri's [2] und seinen eigenen Erfahrungen, beziehlich positiv und negativ elektrisirt werden sollen. Im ersten Falle vermindere sich ihre Verwandtschaft zum elektropositiven Mengungsbestandtheil der umgebenden Luft, während die Anziehung zum elektronegativen um eben so viel erhöht werde; im zweiten Falle finde das Entgegengesetzte statt. Wie, bei erhöhter Verwandtschaft zum Sauerstoff, die Zersetzung verlangsamt erscheinen könne, läfst Matteucci unerörtert. Anbringen der Stoffe an den Enden einer (vermuthlich offenen) Säule, leiste das Nämliche; die fäulnifswidrige Wirkung der

[1] Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1829. t. XLII. p. 310. — The Edinburgh Journal of Science, conducted by D. Brewster. 1830. New Series. vol. II. p. 230. — Froriep's Notizen u. s. w. August 1830. No. 599. (Bd. XXVIII. No. 5.) S. 68.

[2] Vermuthlich ist hier Bellingeri's Arbeit »Sulla proprietà elettrica dei solidi animali« in Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino. 4°. 1820. t. XXV. p. 1., vom 12. December 1819 gemeint, deren Werth ungefähr dem seiner Untersuchungen über die Elektricität des Blutes (S. oben S. 24) gleichkommt.

Pflanzenkohle beruhe gleichfalls auf ihrer Stellung in der Spannungsreihe, keinesweges auf ihrer Porosität.

Dann finden wir ihn beschäftigt, die elektrochemische Theorie der Absonderungen, welche von Young, Home, Wollaston u. A. m. schon vor langer Zeit angeregt und bearbeitet worden war (S. oben S. 26. 27.), durch neue Versuche zu erhärten. [1] Obschon diese Versuche kein anderes Ergebnifs lieferten, als dafs die goldenen oder kupfernen Poldrähte einer fünfzehnpaarigen Säule in zwei Bauchwunden eines lebenden Kaninchens eingeführt, oder auf die Leber oder die Eingeweide lebender Thiere angebracht, beziehlich saure und alkalische Zersetzungsstoffe um sich her versammelten, erklärt Matteucci dieselben doch für ausreichend, um die Analogie der Absonderungen und der elektrochemischen Zersetzung festzustellen; ja er scheut sich in einer späteren Abhandlung sogar nicht, die ausgeschiedenen Stoffe selbst ohne Weiteres dem Harn und der Galle für chemisch analog auszugeben. [2]

Ferner untersuchte er, mit Hinblick auf Becquerel's Theorie, welcher keimende Samen als einen elektronegativen Apparat betrachtet, der Basen anzieht und Säuren von sich stöfst, [3] den Einflufs, den der Aufenthalt an den Polen einer (vermuthlich geschlossenen) zehnpaarigen Kupferzinksäule auf das Keimen von Linsen äufsert. Er fand, dafs der negative Pol merklich befördernd einwirkte, was indefs nur von dem sich hier ansammelnden Alkali herzurühren schien. [4]

Später stellte Matteucci, geleitet theils durch die schon erwähnte Ansicht von der elektrochemischen Natur der Absonderungen, theils aber durch Wilson Philip's bekannte Irrlehren, [5] folgenden Versuch an: Er rieb ein Stück gekochten Fleisches mit etwas Wasser, Seesalz und kohlensaurem Natron bei passender Temperatur so lange zusammen, bis sie einen Brei abgaben, demjenigen ähnlich, den man durch Kauen erhält. Diesen Brei brachte er in eine mit Seesalzlösung befeuchtete Blase, und die Blase selbst einerseits, andererseits ihren Inhalt, durch Platindrähte mit einer achtzehn- bis zwanzigpaarigen Zinkkupfersäule in Verbindung. In den Zersetzungsstoffen, die sich alsbald am posi-

[1] Annales de Chimie et de Physique. Mars 1830. t. XLIII. p. 256. — Schweigger's Journal u. s. w. Bd. LX. S. 305.

[2] Ibid., Août 1834. t. LVI. p. 439. »....J'ai obtenu, avec la pile, des »fluides, dont la nature chimique était analogue à celles des fluides des reins, p. e. »et du foie.«

[3] Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme. t. IV. Paris 1836. p. 185.

[4] Annales de Chimie et de Physique. Mars 1833. t. LV. p. 310.

[5] S. unten, 3. Abschn., Kap. VI. §. II.

tiven Pole, welcher der die Blase berührende war, einzufinden begannen, will Matteucci eine dem Chymus völlig ähnliche Mischung erkannt haben, und kommt also darauf zurück, dafs es zur Erklärung der Magenverdauung wie der sauren Beschaffenheit des Magensaftes nur nothwendig sei, einen durch die Nerventhätigkeit unterhaltenen positiv-elektrischen Zustand der Wände dieses Eingeweides anzunehmen.[1] Joh. Müller hatte hingegen schon früher mehrmals vergeblich versucht, Fleischstückchen in Säure oder Kochsalz mit Hülfe eines elektrischen Stromes aufzulösen. Jetzt wiederholte er in Gemeinschaft mit Dieckhoff Matteucci's Versuch in der Weise, dafs die eine Hälfte des Breies in einer Blase sich selbst überlassen wurde, während die andere 20 Stunden lang der Einwirkung des Stromes einer 36paarigen Säule unterlag; es zeigte sich aber kein irgend bemerkbarer Unterschied in beiden Flüssigkeiten.[2]

[1] Annali delle Scienze del Regno Lombardo-Veneto, Opera periodica di alcuni collaboratori. 1833. — Bulletino delle Scienze mediche della Società medico-chirurgica di Bologna. Settembre 1833. — Gazette médicale de Paris. 2. Série. Janvier 1834. t. II. p. 7.* — Froriep's Notizen u. s. w. April 1834. No. 867. (Bd. XL. No. 9.) S. 129.*

[2] Joh. Müller's Handbuch der Physiologie u. s. w. Bd. I. 1. Aufl. S. 533.* — Dieckhoff, De actione, quam nervus vagus in digestionem ciborum exerceat. Berolini 1835. p. 37.* — Später haben Purkinje und Pappenheim, durch ähnliche Voraussetzungen geleitet, wie Matteucci, (obschon, allem Anschein nach, ohne Kenntnifs seiner und der älteren Bestrebungen Wollaston's, Home's, und Anderer) Versuche: »über das Verhalten des Galvanismus bei künstlicher Verdauung« bekannt gemacht, deren hier Erwähnung geschehen mufs, weil sie, in dem Sinne ihrer Urheber, theilweis bejahende Ergebnisse geliefert haben, ohne doch, wie man es der Aufschrift nach alsdann zu glauben geneigt sein könnte, Matteucci's Angaben zur Bestätigung zu dienen. Purkinje und Pappenheim untersuchten nämlich, ob aus thierischen Flüssigkeiten durch Elektrolyse am positiven Pol hinreichend viel Säure ausgeschieden werden könne, um sich derselben, nach Zusatz von Laab, als künstlicher Verdauungsflüssigkeit bedienen zu können; ob also die Annahme eines elektropositiven Verhaltens des Magens zureichend sei, um die Gegenwart der Salzsäure in demselben, unabhängig von besonderen zu ihrer Absonderung bestimmten Drüsen, zu erklären. Hierzu wurden die Flüssigkeiten, nämlich Speichel, verdünntes Eiweifs, Schleim, Blutwasser, concentrirte Blutrothlösung und Laab mit Wasser in zwei durch einen feuchten Baumwollendocht verbundene Gläschen gethan, in deren jedes ein Platinende einer 30paarigen Säule tauchte. Zur Laabflüssigkeit wurde begreiflich nachmals kein Laab mehr hinzugesetzt. Nur diese Flüssigkeit und Speichel gaben ein befriedigendes Ergebnifs. Man sieht jedoch leicht, dafs in diesen Versuchen der Strom mit der Verdauung selbst gar nichts, sondern nur mit der voraufgehenden Entwicklung von Säure etwas zu thun hat, während er nach Matteucci gerade die eigenthümlich auflösende Wirkung des Pepsin's zu ersetzen im Stande sein sollte. Müller's Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin. Jahrgang 1838. S. 1.* — Annales des Sciences naturelles. 2. Série. t. IX. Zoologie. p. 352.*

Um dieselbe Zeit erschien in den »*Annali delle Scienze del Regno Lombardo-Veneto*« [1] eine Arbeit von MATTEUCCI, welche mir nicht zugänglich geworden ist, aus der er selbst jedoch in einem späteren Aufsatze folgende zwei Behauptungen hervorhebt. [2] 1) Metallsalze, in den Kreislauf eingeführt, würden so zersetzt, dafs ihre Säuren durch die Nieren (als elektropositives Organ), ihre Basen durch die Leber (als elektronegatives Organ) ausgeschieden würden. 2) Durch Verbinden der beiden Enden eines durchschnittenen Vagus mittelst der Platinenden des Multiplicators erhalte man einen Strom, dessen Richtung aber nicht angegeben ist.

Bei alledem entging MATTEUCCI, wenn nicht die einzige, doch die erste wirkliche Entdeckung, die auf diesem Gebiete zu machen war. Am 27. Januar 1834 legte ALEXANDRE DONNÉ der Pariser Akademie der Wissenschaften eine Abhandlung über die chemische Beschaffenheit der Absonderungen vor, in welcher er unter andern zeigt, dafs man beim Anbringen gleichartiger Multiplicatorenden an chemisch ungleichartige Absonderungsorgane, als Haut und Mundschleimhaut, Magen und Leber u. s. f. kräftige Strömungen erhält. [3]

MATTEUCCI erstaunte, dafs es DONNÉ beigekommen sei, diese Ströme von den vorhandenen chemisch ungleichartigen Absonderungen abzuleiten. Seiner Meinung nach rührten sie von den längst von WOLLASTON und ihm selber angenommenen entgegengesetzt elektrischen Zuständen der Absonderungsorgane her, welche selbst vielmehr als die Ursache jener chemischen Gegensätze anzusehen seien. Wenn schon die Richtung der Ströme, seiner Meinung nach, diese Ansicht begünstige (was eine durchaus willkürliche Behauptung ist), so werde sie durch folgenden Versuch vollends über jeden Zweifel hinaus gehoben. Ein lebendes Kaninchen gab einen Strom von 15 — 20° von der Leber zum Magen. Nach Durchschneidung sämmtlicher Blutgefäfse und Nerven, welche durch das Zwerchfell in die Bauchhöhle treten, erhielt MATTEUCCI nur noch 3 — 4°, nach Enthauptung des Thieres aber gar keine Wirkung mehr. Als er nun einen Draht in das Rückenmark stiefs und so lebhafte Zuckungen hervorrief, trat vorübergehend auch der Strom wieder ein. Dafs diese Wirkung, nach Durchschneidung

[1] Wahrscheinlich 1834. Bimestre III. p. 117: Vergl. Bibliothèque universelle etc. Ancienne Série. Sciences et Arts. 1834. t. LIV. p. 176. *

[2] Annales de Chimie et de Physique. Août 1834. t. LVI. p. 439. 442. *

[3] Annales des Sciences naturelles. 2. Série. 1834. t. I. Zoologie. p. 125. * — Die nämlichen Erscheinungen lassen sich bei allen Thieren, auch bei den Fischen, beobachten, s. BECQUEREL, Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme. t. IV. Paris 1836. p. 261. *

aller das Zwerchfell durchdringenden Nerven, doch nicht füglich vom Rückenmark herrühren konnte, diese Schwierigkeit bleibt unerwähnt! — Einem anderen Kaninchen führte er in die Brust ein Glasrohr ein, welches mit einer Retorte in Verbindung stand, worin Blausäure entwickelt wurde. [1] Die Krämpfe, unter denen das Thier verschied, begleiteten förmlich stofsweise Hebungen und Senkungen des Stromes, bis er endlich ganz verschwand. Der Strom fährt dagegen fort zu erscheinen, nachdem man die Säure des Magens mit einem beliebigen Alkali gesättigt hat. Dieselben Ergebnisse erhielt Matteucci an einer grofsen Anzahl von Fröschen.

Uebrigens nimmt er in dieser Arbeit seine Beobachtung von Strömen zwischen den Enden eines durchschnittenen Vagus wieder zurück. [2]

Bald darauf widerlegte Donné alle diese Behauptungen vollständig. In Versuchen an mehr als zwölf Kaninchen zeigte er, dafs die Ströme auch an todten Thieren erhalten werden; dafs man sie beobachtet sogar zwischen Leber und Magen zweier verschiedenen Thiere; dafs weder die Trennung von Nerven und Gefäfsen, noch die Enthauptung, noch Reizung des Rückenmarkes, sei's auf mechanischem, sei's auf elektrischem Wege, einen irgend bemerkbaren Einfluſs auf dieselben ausüben; endlich, dafs auch ausgeschnittene frei in der Hand gehaltene ungleichartige Organtheile fortfahren, dieselben zu entwickeln. So wenig man behaupten könne, dafs diese, wenngleich schwach, doch beständig wirkenden Strömungen ohne alle Bedeutung in den Vorgängen des Lebens seien, so unmöglich sei es andererseits, bei dem jetzigen Stande unserer Kenntnisse, denselben irgend eine Rolle mit vorzugsweiser Bestimmtheit zuzuschreiben. [3]

Nichtsdestoweniger hat Matteucci seine früheren Aussagen noch 1837 und 1840 [4] wiederholt. Später erwähnt er ihrer nicht mehr, ohne sie jedoch jemals ausdrücklich zurückgenommen zu haben.

Dies war der Mann, dem jetzt Nobili's von ihm selbst verkannte Verlassenschaft in die Hände fiel. Man sieht leicht, dafs er nicht

[1] Im Original steht »qu'on introduise alors dans l'intérieur de la poitrine »l'extrémité d'un tube de verre communiquant avec une cornue, de laquelle l'acide »hydrocyanique développé est obligé de sortir à travers le cyanure de mercure.« Hydrocyanique ist vielleicht ein Druckfehler für hydrosulfurique.

[2] Annales de Chimie et de Physique. Août 1834. t. LVI. p. 439. * — Bibliothèque universelle etc. Ancienne Série. Sciences et Arts. 1834. t. LVI. p. 427. * — L'Institut, t. II. No. 75. — Froriep's Notizen u. s. w. Januar 1835. No. 927. (Bd. XLIII. No. 3.) S. 35. *

[3] Annales de Chimie et de Physique. Décembre 1834. t. LVII. p. 398. *

[4] Ibid., Décembre 1837. t. LXVI. p. 430. * — Essai sur les phénomènes électriques des animaux. Paris 1840. p. 85. *

Gefahr lief, denselben Mifsgriff zu begehen. Um so mehr beklagt man es, wenn man in seinen Arbeiten fort und fort den Mängeln begegnet, die der Leser zum Theil schon aus dem Obigen hat entnehmen können, zum Theil noch zu würdigen Gelegenheit finden wird. Dieselbe Untreue, der Natur, sich selbst und anderen Forschern gegenüber; dieselbe Leichtfertigkeit in seinen Behauptungen und in seinen Hypothesen, welche mehr geeignet scheinen, Aufsehen zu erregen, als sich den Thatsachen anzuschmiegen; dieselbe Lockerheit der Schlufsfolgen, wodurch er verhindert wird, den Vortheilen nachzugehen, womit ihn der Zufall während seiner langen mit anerkennenswerther Emsigkeit geführten Forschungen mehrmals glänzend beschenkte; endlich eine Vernachlässigung der Form, welche nicht durch den Gebrauch einer fremden Sprache entschuldigt werden kann, da sie sich mehr in der mangelnden Gliederung des Stoffs und der vieldeutigen Unbestimmtheit des Ausdrucks kund giebt: dies sind die Uebelstände, welche wir im Laufe dieses Werkes noch häufig zu bekämpfen haben werden. Mit Schmerz war noch kurz vor seinem Tode der treffliche Nobili Zeuge des Beginnens gewesen, welches Matteucci in der thierischen Elektricität anhob, wofür Jener stets eine besondere Vorliebe gehegt, und vergebens hatte er, wie bereits vor ihm Marianini, diesem Treiben ein Ziel zu setzen gesucht. Seine wohlgemeinten Erinnerungen hatten keinen anderen Erfolg, als dafs derjenige, an den sie gerichtet waren, von nun an auch die übrigen Leistungen ihres Urhebers nach Möglichkeit ignorirte. [1]

---

## §. III.

## Matteucci's Arbeiten über den Froschstrom bis zum Jahr 1840.

Bereits in der letztangeführten Arbeit ist von dem Nobili'schen Grundversuch über den Froschstrom mit dem Bemerken die Rede, dafs es Matteucci nicht immer geglückt sei, eine Ablenkung zu erhalten, was ihn jedoch eben so wenig Wunder nehme, als die sonstigen verneinenden Ergebnisse über Ströme in den Nerven, da er beobachtet habe, dafs sogar der Strom einer zehnpaarigen Säule, durch einen zugerichteten Frosch, ja durch einen frei präparirten Nerven geleitet, keine Wirkung auf die Nadel eines Multiplicators äufsere, dessen Enden

[1] S. Bibliothèque universelle etc. Ancienne Série. Sciences et Arts. 1831. t. XLVII. p. 371. * — Ibid., 1834. t. LVII. p. 174. *

zwischen den Poldrähten an die thierischen Theile irgendwie angebracht sind. Er scheint dies einer unbekannten, in den Leitungsverhältnissen der Nerven und Muskeln begründeten Eigenthümlichkeit, statt einfach der Unempfindlichkeit seines Multiplicators zuzuschreiben, und spricht schliefslich die Ueberzeugung aus, dafs die Erforschung der elektromotorischen Fische der Weg sei, das grofse Räthsel der thierischen Elektricität seiner endlichen Lösung näher zu bringen. [1]

Hier beginnt demnach die ausgedehnte Reihe seiner Arbeiten über diesen Gegenstand. Es würde uns an dieser Stelle zu weit führen, ihm auch nur in die Umrisse derselben folgen zu wollen; wir werden später mehrfach Gelegenheit finden, uns auch mit diesem Theile seiner Leistungen bekannt zu machen. Hier genügt es für unsern Zweck, den Faden der Untersuchung zu entwirren, der Matteucci schliefslich zu einer ernsteren Beachtung der Erscheinung des Froschstroms führte. Es war folgender.

Becquerel hatte um jene Zeit eine Theorie des Schlages der Zitterfische aufgestellt. Er liefs die Elektricität derselben sich im Augenblick des Schlags in ihrem Gehirn entwickeln, in die Organe übergeführt werden, und hier zur Ladung der kleinen Säulen dienen, aus denen sie zusammengesetzt erscheinen; zur Entladung derselben nahm er noch einen besonderen Mechanismus zu Hilfe, wovon an einer späteren Stelle die Rede sein wird. [2]

Matteucci, gegen den erst kurz vorher Becquerel in einer anderen Angelegenheit eine Prioritätsreclamation hatte richten müssen, [3] bemächtigte sich dieses nicht eben sehr glücklichen Gedankens mit solcher Inbrunst, dafs derselbe ihm seitdem, da sein Besitzer ihn vielleicht nicht der Einrede für werth hielt, irrthümlicherweise allgemein zugeschrieben worden ist. Ohne dafs Becquerel dabei ein einzigesmal genannt würde, machte er jene Theorie an den unten [4] angeführten Orten mehreremale hintereinander bekannt, bis er endlich die, im Grunde auf der Hand liegende, [5] Unhaltbarkeit derselben einsehen gelernt hatte. Statt jetzt

[1] Annales de Chimie et de Physique. Août 1834. t. LVI. p. 442. 443. *

[2] S. unten, 3. Abschn., Kap. X. §. II. — Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme. t. IV. Paris 1836. p. 289. 290. * (Am 13. Juni d. J. der Akademie vorgelegt: Comptes rendus etc. t. II. p. 565. *)

[3] Comptes rendus etc. 8 Août 1836. t. III. p. 135. *

[4] Comptes rendus etc. 3 Octobre 1836. t. III. p. 430. * — Ibid., 2 Octobre 1837. t. V. p. 501. * — Annales de Chimie et de Physique. Décembre 1837. t. LXVI. p. 426. 427. 428. 434. 435. * — Bibliothèque universelle etc. Nouvelle Série. Octobre 1838. t. XVII. p. 378. *

[5] Joh. Müller, Handbuch der Physiologie des Menschen u. s. w. Bd. I. 3. Aufl. 1838. S. 69. *

klar und deutlich seine Meinungsänderung anzuzeigen, geschieht des Ursprungs des Schlags der Zitterfische aus dem Gehirn im »*Essai etc.*« [1] nur noch in unbestimmten Ausdrücken, im »*Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux*« (Paris 1844) gar keine Erwähnung mehr.

Wie dem auch sei, es kam damals für ihn darauf an, die Möglichkeit einer solchen Elektricitätsentwickelung im Gehirn einsichtlich und wahrscheinlich zu machen. Er nahm an, dafs dieselbe entspringe aus der Berührung des »élément nerveux« einerseits und andererseits des »élément sanguin (liquide ou organisé)«, die sich im Gehirn befänden. Dieselben wirksamen Bestandtheile erblickte er in dem elektromotorischen Schenkel eines Frosches. Er schritt demnach endlich, zur besseren Begründung der Becquerel'schen Irrlehre von dem Sitze der elektromotorischen Kraft des Zitterrochens, die er sich zugeeignet hatte, zur Untersuchung des Froschstroms, dessen Französischer Bezeichnungsweise er nach Nobili's Vorgang im Italiänischen, nicht ohne dem Sprachgebrauch Zwang anzuthun, noch das Beiwort »propre« hinzufügte. [2]

Seine ersten Bestrebungen gingen darauf hin, ihn von dem Verdacht eines gemeinen elektrochemischen oder thermoëlektrischen Ursprungs zu reinigen. Die Entstehung der letzteren Hypothese ist uns bekannt; was die erstere betrifft, welche an den entsprechenden Punkten des Froschkörpers Säuren und Basen voraussetzt, auf deren Wechselwirkung der Strom beruhen soll, so scheint sie, nach einer Aeufserung Matteucci's [3] zu schliefsen, von Donné herzustammen, der sich wohl durch seine Erfolge an den Absonderungsorganen zu dieser Verallgemeinerung der dort wirksamen elektromotorischen Ursache mochte haben hinreifsen lassen. Die angeführte Stelle läfst freilich auch die Deutung zu, dafs Matteucci an Donné's bekannte Ansicht von den Strömen zwischen chemisch ungleichartigen Eingeweiden nur erinnert, um an diesem Beispiele die Art und Weise klar zu machen, wie die Anhänger jener Hypothese sich die Entstehung des Stroms aus den angenommenen elektrochemischen Gegensätzen versinnlichen; wenigstens hat sich Donné

[1] S. daselbst p. 71.*

[2] Comptes rendus etc. 2 Octobre 1837. t. V. p. 501.* — Ibid., 9 Octobre. p. 520.* — L'Institut. t. V. No. 221. p. 348 u. 350.* — Bibliothèque universelle etc. Nouvelle Série. Octobre 1837. t. XI. p. 392. 396.*

[3] »Dans l'autre hypothèse, on admet que c'est à une action électro-chimique »que ce courant est dû, en recourant, comme l'a fait M. Donné, à des alcalis et »à des acides qu'on suppose fixés sur les différens organes, et agissant chimique»ment à travers les tissus intermédiaires, tout-à-fait comme la potasse et l'acide »nitrique dans la jolie pile de M. Becquerel.« Annales de Chimie et de Physique. Juin 1838. t. LXVIII. p. 104. 105.*

später öffentlich zur alten Volta'schen Theorie der Zuckung ohne Metalle bekannt. [1] Dem sei wie ihm wolle, es ist mir, weder bei Französischen noch Italiänischen Schriftstellern, den einzigen, welche Matteucci zu berücksichtigen pflegt, gelungen, eine Aeufserung ausfindig zu machen, welche einen Bezug irgend einer Art auf die fragliche Hypothese enthielte.

Matteucci suchte dieselbe zu beseitigen, [2] indem er darthat, dafs der Froschstrom, unabhängig von seiner Stärke, sich durch ganz besondere Eigenschaften von dem Strom einer Säure-Alkalikette unterscheide, deren Flüssigkeiten $^1/_{40}$ Kali und eben so viel Salzsäure [3] enthalten. Die erste dieser Eigenschaften sei folgende. Wird der eine Nerv eines nach Galvani's Vorschrift zugerichteten Frosches, der die Zuckung ohne Metalle zeigt, durchschnitten, der andere in der Mitte seiner Länge so fest unterbunden, dafs mechanische Reizung oberhalb des Unterbandes keine Zuckung mehr bewirkt, und man biegt nun den Nerven gegen den Schenkel um, so erhält man die Zuckung nur, wenn die den Schenkel berührende Stelle des Nerven unterhalb des Unterbandes gelegen ist. Auf den Strom der Säure-Alkalikette hingegen antwortet der Frosch nach wie vor, gleichviel, ob der eine Poldraht derselben oberhalb oder unterhalb der gequetschten Stelle angebracht wird, während der andere die Muskeln berührt. Nichtsdestoweniger sei die Unterbindung auf den Widerstand des Nerven von keinerlei Einflufs; denn wenn Matteucci den Strom einer mit Seinewasser geladenen Bleiplatinkette durch einen zugerichteten Frosch und einen Multiplicator führte, veränderte beim Zuziehen einer um die Nerven gelegten Schlinge die vorher ruhige Nadel ihre Stellung nur um $1-2°$, und zwar bald in der einen, bald in der anderen Richtung, und kehrte endlich auf ihren früheren Stand zurück. Obschon zweitens der Frosch länger auf seinen eigenen Strom antworte, als auf den der Säure-Alkalikette, wirke diese doch am Multiplicator viel kräftiger als jener. Diese Behauptungen sind theoretisch sinnlos, da es keine qualitativen Unterschiede der Ströme giebt, sondern nur solche der Stärke nach; was den Thatbestand betrifft, der ihnen zu Grunde liegt, so hat Matteucci selbst seitdem niemals Rücksicht darauf genommen.

[1] Journal des Débats politiques et littéraires. 25 Février 1842. Feuilleton. *

[2] Comptes rendus etc. 9 Octobre 1837. t. V. p. 520. * — L'Institut. t. V. No. 221. p. 350. * — Bibliothèque universelle etc. Nouvelle Série. Octobre 1837. t. XI. p. 396. *

[3] Anderwärts heifst es Salpetersäure. Annales de Chimie et de Physique. Décembre 1837. t. LXVI. p. 433. * — In welcher Gestalt das Kali gemeint sei, wird nicht gesagt.

Einige andere Beobachtungen, welche MATTEUCCI sehr bald darauf der Pariser Akademie in unverständlicher Kürze mittheilte, [1] entnehme ich erst seiner nächstfolgenden Abhandlung, wo sie in gröfserer Ausführlichkeit wiederkehren.

Noch in demselben Jahre erschien nämlich ein längerer Aufsatz von MATTEUCCI über den Zitterrochen. [2] In das fünfte Kapitel desselben sind Untersuchungen über den Froschstrom eingeflochten. Hier werden zu den früheren Gründen, aus denen sich ergebe, dafs derselbe weder elektrochemischen noch thermoëlektrischen Ursprungs sein könne, folgende hinzugefügt: Ein drei- bis viermal mit destillirtem Wasser abgewaschener Frosch zeigt noch die Zuckung ohne Metalle, wenngleich schwächer (p. 429). Stücke eines todten Frosches, mit sauren, salzigen und alkalischen Flüssigkeiten von verschiedener Temperatur benetzt, blieben ohne Wirkung an seinem Multiplicator, der ihm gleichwohl häufig den Froschstrom angezeigt habe (p. 429. 430). Die Richtung des Stroms sei die entgegengesetzte von der, die er haben müfste, wenn er chemischen Ursprungs wäre, (?) wenigstens müsse man, um ihn auf diese Weise zu erklären, Säure auf den Nerven und Basen auf den Muskeln vermuthen, was ihrer chemischen Beschaffenheit zuwider sei (p. 432). Auch am lebenden Frosch, jedoch nicht an allen Individuen, gelinge es, den Strom durch die Zuckung sichtbar zu machen. Man enthäutet entweder die Schenkel, präparirt einen Ischiadicus heraus, und beugt ihn gegen die Muskeln zurück, oder man schlitzt die Flanke des Frosches der Länge nach auf, holt mit einer Pinzette, oder einer Holzspitze, den Nerven heraus und biegt den Schenkel gegen ihn hinan. Den Schenkel könne man von der Haut befreien, ohne sie zu entfernen, wodurch das Thier länger am Leben erhalten werde (p. 431). [3] Indessen ist der Strom des lebenden Thieres schwächer als der des getödteten, ist im steten Abnehmen begriffen und verschwindet endlich ganz und gar. Wird nun der Frosch getödtet und nach GALVANI's Vorschrift zugerichtet, so erhält man starke Zuckungen unter den

[1] Comptes rendus etc. 23 Octobre 1837. t. V. p. 599. * — Bibliothèque universelle. Nouvelle Série. Octobre 1837. t. XI. p. 397. *

[2] Bibliothèque universelle. Nouvelle Série. Novembre 1837. t. XII. p. 163. * — Annales de Chimie et de Physique. Décembre 1837. t. LXVI. p. 396. * — Ich citire nach der zweiten, als der am allgemeinsten zugänglichen Quelle. Diese Abhandlung ward der Gegenstand des Berichtes einer Commission der Pariser Akademie der Wissenschaften, auf deren Vorschlag die Aufnahme derselben in das »Recueil des Savants étrangers« genehmigt wurde. S. Comptes rendus etc. 4 Décembre 1837. t. V. p. 788. * — L'Institut. 1838. t. VI. No. 223. p. 4. *

[3] »On peut découvrir les cuisses sans enlever la peau, et on parvient ainsi »à conserver longtems l'animal.« (?)

nämlichen Umständen, wo sie am lebenden Thiere versagt hatten. Auch diese Zuckungen verschwinden bald, man beobachtet sie aber von Neuem, wenn man jetzt die Ischiadici von dem Stück Wirbelsäule ablöst, und abermals gegen die Muskeln zurückbeugt. [1] Diese Erscheinungen seien aufser Zusammenhang mit dem von Ritter entdeckten Gesetze, wonach die Reizbarkeit der Nerven von dem Gehirn nach den Muskeln zu fortschreitend abnimmt, denn der berührte Punkt des Nerven bliebe in seinen Versuchen stets der nämliche (p. 431. 432). [2] Lege man ein Stück Eis 4 — 5′ lang auf einen Frosch, so scheine der Strom aufgehoben, obschon das Thier noch lebendig sei; erwärme man den Frosch, oder blase man Sauerstoff in seine Lungen, so gelinge es manchmal, ihn lebhaft anzuregen, und der Strom kehre zurück. [3] Meistens jedoch, wenn die Wirkung der Kälte anhaltend war, lebe das Thier ohne Strom fort (p. 431). Die Zuckung ohne Metalle, die er »Contraction propre« nennt, nehme an Heftigkeit zu, wenn man die Stelle, die der Nerv berühren soll, mit frischem Blute desselben Thieres bestreiche; endlich zucke ein frischzugerichteter Frosch jedesmal auf das heftigste, wenn sein Nerv das Gehirn eines Zitterrochens berühre, vornehmlich aber, wenn dies zuvor mit Blut benetzt worden sei (p. 430). Was die Ursache des Froschstroms betrifft, so sieht sie Matteucci nunmehr, ebenso wie die, welche den elektrischen Strom im Gehirn des Zitterrochens bewirkt, der das Organ, seiner Meinung nach, ladet, in der Berührung »flüssigen oder zu Muskelsubstanz organisirten Blutes (!) mit der zum Nerven, Gehirn, oder verlängerten »Marke zusammengefügten Nervensubstanz.« [4] Die Schwierigkeit, den Strom am lebenden Thier zu erhalten, beruht auf dem Umstand, dafs

[1] Hieraus scheint hervorzugehen, dafs beim Versuch am lebenden Thier die Nerven noch mit der Wirbelsäule verbunden waren.

[2] S. unten, 2. Abschn., Kap. II. §. III. 2 (II).

[3] »En réchauffant ensuite la grenouille, en lui soufflant de l'oxygène dans les »poumons, j'ai réussi quelquefois à exciter fortement l'animal, et alors le courant »propre a reparu encore.« — »Si l'on place la grenouille entre deux morceaux de »glace pendant dix ou douze secondes, afin d'abaisser sa température, et qu'ensuite »on la retire, le courant propre n'existe plus; en introduisant dans la bouche de »l'oxygène, l'animal à l'instant s'agite, saute et le courant propre reparaît pour »s'évanouir ensuite, comme M. Matteucci l'a observé dans la torpille.« Becquerel, Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme. t. VI. p. I. 1840. p. 224.* — Es thut mir leid, versichern zu müssen, dafs diese Behauptungen eben so völlig aus der Luft gegriffen sind, wie sie auf den ersten Blick abgeschmackt erscheinen.

[4] »J'ai varié, répété de toutes manières ces expériences, et il m'a fallu con»clure que, toutes les fois que du sang, ou liquide ou organisé en substance mus»culaire, touche la substance nerveuse organisée en nerfs, ou en moëlle allongée, »ou en cerveau, il y a production d'un courant électrique.« p. 430.*

er hier, bei unverletztem Nervensystem, von einer geschlossenen Kette abgeleitet werden müsse, was nur in einem überreizten Zustande möglich sei; eben darauf sei auch der Nichterfolg der bisherigen Bestrebungen zurückzuführen, Ströme in den Nerven zu entdecken. Nach Oeffnung der Kette durch Zerstörung eines Theiles des Nervensystems erscheine der Froschstrom verstärkt, weil ein gröfserer Theil desselben in die ihm dargebotenen Nebenschliefsungen einströme (p. 434).

Das folgende Jahr, 1838, bringt abermals Untersuchungen des fleifsigen Forschers über den Froschstrom, diesmal unabhängig von solchen am Zitterrochen.[1] Aufser der erneuten Mittheilung aller seiner früheren Versuche, welche er unterdessen in Gemeinschaft mit den Pariser Gelehrten, vorzüglich mit Becquerel, wiederholt hatte (p. 95), enthält diese Abhandlung folgendes Neue. Jetzt erst scheint Matteucci zur consequenten Anwendung des Multiplicators auf die Erforschung des Stromes gelangt zu sein. Das Instrument, dessen er sich bediente, war von Gourjon in Paris, mit 2500 Windungen und Platinenden. Diese tauchten in zwei Porzellanschalen mit verdünnter Salzlösung, welche durch dicke Baumwollendochte mit zwei gleichen Gefäfsen verbunden waren, in die erst der Frosch selbst getaucht wurde. Den Zweck dieser Abänderung der Nobili'schen Vorrichtung, welche beiläufig den Versuchen über Ketten aus flüssigen Leitern entlehnt ist, begnügt sich Matteucci mit den Worten anzudeuten: »Pour me mettre »à l'abri des courants qui pourraient être développés par les lames de »platine....« Es ist darunter zu verstehen, dafs, bei dieser Anordnung, durch das Eintauchen des Frosches weder mehr die Höhe, noch die Beschaffenheit der Flüssigkeit in der nächsten Nähe der Platinenden verändert werden könne, wodurch sowohl Strömen wegen ungleichzeitigen Eintauchens, als solchen wegen Eintauchens gleichartiger Multiplicatorenden in ungleichartige Flüssigkeiten, vorgebeugt ist; ein Punkt, auf den wir noch später zurückzukommen haben werden.[2] Der Frosch könne dabei lebendig oder todt sein; der erstere werde, wie oben S. 117 beschrieben wurde, zugerichtet, und die Nerven mit Glaspinzetten aus der Bauchhöhle hervorgeholt. Zur Wahrnehmung der Multiplicatorwirkung des Froschstromes sei es nicht nothwendig, dafs die in die Gefäfse tauchenden Theile seines Körpers gerade die Nerven einerseits und andererseits die Muskeln oder Sehnen des Unterschenkels seien. Es genüge, den ganzen Frosch zu enthäuten, die Füfse in das eine,

[1] Bibliothèque universelle. Nouvelle Série. Mai 1838. t. XV. p. 157.* — Annales de Chimie et de Physique. Mai 1838. t. LXVIII. p. 93.* — Ich citire abermals nach der letzteren Quelle.

[2] S. unten, 2. Abschn., Kap. I. §. III. 3 (II). Umhüllung der Platten.

und den Kopf oder Rücken in das andere Gefäfs zu tauchen, um einen ebenso lebhaften und ebenso gerichteten Strom wie von dem nach Galvani's Vorschrift zugerichteten Frosch zu erhalten. Auch an diesem erfolge er nicht minder kräftig und in demselben Sinne noch nach Entfernung der Nerven und sogar des zwischen den Schenkelmuskeln gelegenen Theiles derselben durch Eintauchen der Unterschenkel auf der einen, der Oberschenkel auf der anderen Seite. Die Wirkung fährt fort zu erscheinen und zwar stets in der nämlichen Richtung nach Entfernung des sehnigen Theils des Unterschenkels, zwischen den Nerven und den auseinandergezogenen und zerrissenen Oberschenkelmuskeln (p. 97), wie auch zwischen dem Nerven und dem Oberschenkel einerseits und andererseits dem im Kniegelenk davon getrennten Unterschenkel, wenn beide Schnittflächen einander berühren, oder durch einen Baumwollendocht verbunden sind (p. 99). Was die Gröfse der Multiplicatorwirkungen betrifft, so erhielt Matteucci, bei Weglassung der beiden mittleren Gefäfse seiner Vorrichtung, wie Nobili einen Ausschlag von 25 — 30° und eine beständige Ablenkung von 3°, die, wegen der sich auf den Platinenden entwickelnden Ladungen, binnen einer Viertelstunde auf 2° sank. Legte er nun, statt des Frosches, einen baumwollenen Docht auf, so erfolgte der Ausschlag der Ladungen mit 15 — 20° nach der anderen Seite; nach hergestellter Gleichartigkeit der Enden gab der Frosch wiederum einen dem ersten ähnlichen Ausschlag. Diesen Kreis von Erscheinungen könne man viele Male nacheinander beobachten (p. 100). Der Strom durchdringe, ohne merkliche Schwächung, eine 1 dm dicke Salzwasserschicht; er sei folglich einer elektrochemischen Wirkung fähig (?). Um diese nachzuweisen, überzog Matteucci die Achillessehne eines kräftigen Froschschenkels mit Josephspapier, welches in Jodkaliumlösung getaucht war, und brachte dann durch Zurückbeugen des Nerven gegen die Sehne eine Reihe von Zuckungen hervor. Nach wenigen Secunden, sagt Matteucci, habe er die gelbliche Färbung auf dem Nerven auftreten sehen. Blofses Eintauchen der Nerven in Jodkaliumlösung färbe dieselben nicht gelb. Die durch die Zersetzung gegebene Richtung des Stromes komme mit der durch den Multiplicator angezeigten überein (p. 99. Ueber den Werth dieses Versuchs s. übrigens unten, 2. Abschn., Kap. III.). Von einem Versuche ziemlich verwickelter Art, welchen Matteucci anscheinend in der Absicht anstellte, diese Richtung auch auf physiologischem Wege, mit Hülfe des Gesetzes der Zuckungen, zu bestimmen (p. 97. 98), wird später die Rede sein. [1] 'Während nur äufserst lebhafte Thiere noch

[1] S. unten, 2. Abschn., Kap. II. §. III. 2 (VII).

nach einer halben Stunde auf ihren eigenen Strom antworten, erscheine die Multiplicatorwirkung nach fünf- bis sechsmal längerer Zeit ungeschwächt (p. 101). Fünf bis sechs Stunden, ja einen Tag lang in Wasser aufbewahrte Frösche fuhren fort, wenn auch immer schwächere Wirkungen abzugeben (p. 100). Wahrscheinlich mit Hinblick auf von Humboldt's bekannte Versuche, [1] deren aber keine Erwähnung geschieht, behauptet Matteucci, dafs wenn man die Muskeln eines Frosches, der nicht reizbar genug sei, um die Zuckung auf den eigenen Strom zu zeigen, mit einem Pinsel voll ziemlich concentrirter Salzsäure [2] oder Kalihydratlösung überfahre, und dann den Nerven zurückbeuge, alsbald Zuckung entstände, die hingegen nicht jedesmal einträte, wenn man den Nerven unmittelbar mit diesen Flüssigkeiten benetze. Daraus, dafs die Multiplicatorwirkung eines so benetzten Frosches noch ihre frühere Richtung einhalte, schliefst Matteucci von Neuem auf die Unabhängigkeit dieser Wirkung von elektrochemischen Vorgängen (p. 102). An tetanischen Fröschen, die durch Strychninvergiftung oder nach schneller Zurichtung von selbst in diesen Zustand gerathen sind, solle der Strom fehlen, nach Beendigung des Krampfes wiederkehren, wenn der Tetanus von der letzteren Art war, hingegen dauernd vermifst werden, wenn er auf die erstere Weise entstand (p. 102. 103. S. unten, 3. Abschn., Kap. IV. §. 1.). Ein, wie oben beschrieben wurde, erkalteter Frosch gebe gleichfalls keine Multiplicatorablenkung mehr (S. unten, 3. Abschn., Kap. VIII. §. 11.). Ebenso fehle diese, wenn bei unterbundenem Nerven die oberhalb des Unterbands gelegene Strecke desselben zum Schliefsen der Kette verwandt werde (p. 103). Schliefslich kommt Matteucci auf die Ursache des Froschstroms zurück und widerlegt die thermoëlektrische Theorie desselben abermals aus den Gründen, dafs er erst an einem Multiplicator von sehr vielen Windungen wahrnehmbar werde, ohne Verlust 1 dm dicke Schichten feuchten Leiters durchsetze, und zwischen Muskel und Muskel, wie auch von Gliedern, die in Wasser getaucht seien, erhalten werden könne. Zu den Gründen wider den elektrochemischen Ursprung fügt Matteucci noch ferner hinzu, dafs man mit Reagenzpapieren auf dem enthäuteten Frosch nirgends eine Spur von Säure oder Alkali (?) zu entdecken vermöge. Da man den Strom in gleicher Weise zwischen den Muskeln des Unterschenkels und denen des Rückens erhalte, so müsse man hier Säure, dort Alkali voraussetzen, was widersinnig sei. Endlich sei es, bei dieser Annahme,

[1] Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Bd. II. S. 171.

[2] Von Humboldt wandte indefs bekanntlich »oxygenirte Kochsalzsäure«, d. h. Chlorwasser an.

unmöglich, den Erfolg beim Erkalten des Froschs, dem Tetanus, der Unterbindung, und die übereinstimmende Wirkung der Salzsäure und der Kalihydratlösung zu erklären. Von Matteucci's Seite ist übrigens ebenso wenig mehr die Rede von dem »courant propre des nerfs et du sang.« Die Ursache des Froschstromes sei uns schlechterdings unbekannt; das einzige, was uns durch die Analogie geleitet zu thun übrig bleibe, sei, sie mit der gleichfalls unbekannten zusammenzustellen, die sich in den Zitterrochen wirksam erweise. Diese beiden Thiere, der Frosch und der Zitterrochen, seien aber nicht die einzigen, welche Spuren elektrischer Wirkungen zeigten. Er habe Versuche an andern frischgetödteten Thieren angestellt, und bei allen den Strom in der nämlichen Richtung vorgefunden (? S. unten, 3. Abschn., Kap. I. §. IV.). Es handle sich folglich hier um eine sämmtlichen organischen Wesen gemeinsame Thätigkeit (p. 104 — 106).

---

## §. IV.

## Schlufsbemerkungen.

### 1. Von dem geschichtlichen Verhältnisse meiner Arbeiten zu denen Matteucci's.

Ich habe nunmehr die Geschichte des Froschstroms bis zu dem Punkte geführt, wo ich selbst sie vorfand, als ich zuerst anfing, mich mit demselben zu beschäftigen. Die Abhandlung, deren Gehalt an neuen Thatsachen so eben dargelegt wurde, erschien zwei Jahre später in Matteucci's »*Essai sur les phénomènes électriques des animaux.* Paris 1840« [1] p. 74 — 85 als sechstes Kapitel der zweiten Abtheilung unverändert und ohne weiteren Zusatz nochmals abgedruckt. Sie ist es, aber von Matteucci's Arbeiten auch nur sie allein, welche meinen Untersuchungen zum Ausgangspunkt gedient hat.

Die ersten Erfolge in der Bearbeitung des Gegenstandes erhielt ich, wie in dem Vorwort erzählt wurde, im Frühling des Jahres 1842, nachdem ich bereits seit einem Jahre fast unablässig mit den Schwierigkeiten gekämpft hatte, an denen dieselbe so reich ist. Um die Mitte

[1] Im Auszuge Bibliothèque universelle etc. Nouvelle Série. Décembre 1840. t. XXX. p. 368. * — Der Pariser Akademie überreicht am 22. Juni 1840. Comptes rendus etc. t. X. p. 950. * Wird in der Folge nur kurz als: »Essai etc.« angeführt werden.

Novembers desselben Jahres übergab ich der Redaction der *Annalen der Physik und Chemie* die Handschrift der Abhandlung: »*Vorläufiger Abrifs einer Untersuchung über den Froschstrom und über die elektromotorischen Fische*«, worin die wesentlichen Ergebnisse, zu denen ich bis dahin gelangt war, dargelegt sind. Sie erschien in dem Januarhefte 1843 der Annalen. [1]

Inzwischen hatte die Pariser Akademie der Wissenschaften bereits am 21. Februar 1842 eine Abhandlung von MATTEUCCI unter dem Titel: »*Recherches sur le courant propre de la grenouille et des animaux à sang chaud*« in Empfang genommen. [2] Aus derselben verlauteten einige Einzelheiten sogar schon im Jahr 1841, [3] wie auch jetzt bei Gelegenheit der Ueberreichung. [4] Die letzteren, welche mir damals allein bekannt wurden, lehrten mich aber bereits nichts Neues mehr. Sie werden gleichwohl, bei der später stattfindenden Berücksichtigung dieser Arbeiten, noch besonders hervorgehoben werden. Jene Abhandlung selbst erschien im Zusammenhange zuerst in dem fünften Hefte der »*Archives de l'Électricité*«, [5] welches am 3. November d. J. zu Genf ausgegeben wurde, mir jedoch erst zu Gesicht kam, als die Handschrift meines Aufsatzes bereits in den Händen der Redaction der Annalen war.

Bei alledem ist MATTEUCCI hiernach gegen mich nicht nur in der unzweifelhaften Priorität für alle Thatsachen, welche seine Abhandlung enthält, sondern ich bin sogar aufser Stande, die Unabhängigkeit meiner in dem »vorläufigen Abrifs« beschriebenen Untersuchungen von diesem Theil der seinigen darzuthun. Nichtsdestoweniger halte ich mich für berechtigt, den Leser von hier ab meinen selbstgebahnten Weg zu führen, anstatt noch ferner, wie bisher, die Reihe von MATTEUCCI's Erfahrungen vor ihm zu entwickeln. Ein unbefangenes Urtheil wird leicht dazu gelangen, aus dem Gange der Untersuchung und der Menge des aufgehäuften Stoffs in meinem »*Abrifs*« mehr als das Ergebnifs einer flüchtigen Nachlese zu erkennen. Wer aber geneigt sein sollte,

[1] POGGENDORFF's Annalen u. s. w. Bd. LVIII. S. 1.

[2] Comptes rendus etc. 21 Février 1842. t. XIV. p. 310.*

[3] Comptes rendus etc. 6 Septembre 1841. t. XIII. p. 540.* — L'Institut. t. IX. No. 402. p. 302. No. 403. p. 310.*

[4] Comptes rendus etc. 21 Février 1842. t. XIV. p. 315.* — L'Institut. t. X. No. 426. p. 65.*

[5] Archives de l'Électricité. t. II. 1842. p. 419.* — Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 301.* Die Pariser Akademie verlieh MATTEUCCI auf Grund seiner Leistungen im Gebiete der thierischen Elektricität in ihrer Sitzung vom 19. December 1842 die Hälfte des MONTYON'schen Preises für Experimental-Physiologie, dessen andere Hälfte LONGET bezog, nebst einer aufserordentlichen Entschädigung. Comptes rendus etc. 19 Décembre 1842. t. XV. p. 1139.*

jene Berechtigung anzuzweifeln, dem wird durch die gehörigen Ortes stets eingeflochtene Uebersicht der entsprechenden Leistungen Matteucci's in der Folge Gelegenheit werden, sich zu überzeugen, dafs bereits zu jener Zeit meinerseits ein Standpunkt erreicht war, zu dem dieser Forscher, nach so vieljährigen Anstrengungen, auch heutzutage noch nicht gelangt ist, so dafs aus diesem Grunde sogar meine späteren Arbeiten nur noch wenige Berührungspunkte mit den seinigen haben. Diesen Lesern gegenüber bin ich dann immerhin bereit, auf die Selbstständigkeit meiner damaligen Untersuchungen, so weit sie diejenigen Matteucci's nicht überholen, Verzicht zu leisten.

Bei dem besonderen Verhältnifs meiner Arbeiten zu denen eines längstbekannten und vielgenannten Physikers, und in einer Zeit, wo, wer die Frucht langwieriger Untersuchungen gewissenhaft zu reifen sich bestrebt, leicht den Kürzeren zieht im Spiel mit Solchen, die Tag um Tag mit lautem Ruf zu Markte bringen, was jeden Morgen in gewaltsamer Hast vom Baum geschüttelt wurde: unter diesen Umständen glaubte ich es mir selbst schuldig zu sein, diese Erklärungen nicht vorzuenthalten.

## 2. Bezeichnung von Matteucci's wesentlicher Leistung im Gebiete des Froschstroms bis zu diesem Zeitpunkte (1840).

Zur Vervollständigung der Geschichte des Froschstroms bleibt uns jetzt noch übrig, aus dem durch Abwège und Einzelheiten getrübten Gange der Erzählung den wirklichen Fortschritt hervortreten zu lassen, den die Untersuchung der Erscheinung durch Matteucci's Bemühungen bis zu dem erwähnten Zeitabschnitt gemacht hat.

Seine Versuche sind von sehr ungleichem Werth. Einem Theile derselben scheint er selbst seitdem den Stab gebrochen zu haben, indem ihrer in der vollständigen Sammlung seiner Arbeiten, welche unter dem Titel »*Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux*« im Jahr 1844 zu Paris erschien, nicht weiter gedacht ist. So den Versuchen über die Unterschiede, die zwischen dem Froschstrome und demjenigen einer schwachen Säure-Alkalikette stattfinden sollten (S. oben S. 116); über die Wiederbelebung eines erkalteten Frosches und Wiederherstellung seiner elektromotorischen Wirkung durch Einblasen von Sauerstoff in die Lungen; über die Zuckungen, die, seiner Theorie gemäfs, das mit Blut benetzte Gehirn des Zitterrochens zu erregen vermöge (S. 118); über Jodkaliumelektrolyse durch den Froschstrom ohne Einschaltung von Metallen (S. 120); über die Wirkung der Salzsäure und der Kalihydratlösung auf die Reizbarkeit; über den Einfluſs der

Unterbindung eines Nerven auf seine Leitungsfähigkeit für den Froschstrom (S. 121) u. s. f.

Ein anderer grofser Theil von Matteucci's Versuchen dürfte zwar von dem Uebelstande frei zu sprechen sein, der ihren Urheber bewogen haben mag, die aufgezählten Angaben fallen zu lassen. Allein theils sind dieselben alsdann nur Wiederholungen Nobili'scher Erfahrungen; theils beziehen sie sich lediglich auf physikalische oder physiologische Wirkungen des Stromes als eines solchen, ohne irgend etwas über das Wesen und den Sitz der elektromotorischen Kraft beizubringen, welche ihm zu Grunde liegt; theils endlich rühren sie an Fragen, denen bei so wenig vorgeschrittenem Stande der Kenntnisse vor der Hand noch keine fördernde Bedeutung zukommen kann, und beschränken sich auch in solchen Fällen, wie z. B. in der Erforschung des erkalteten Frosches, zu sehr auf die ersten allgemeinen Wahrnehmungen räthselhafter Verhältnisse.

Matteucci's wahres Verdienst bis zu dieser Stelle ist vielmehr unstreitig in dem Nachweis zu suchen, dafs der elektromotorische Vorgang, auf dem der Froschstrom beruht, von der Berührung von Muskel- und Nervengewebe aufserhalb der Glieder, oder ihrer Schliefsung zum Kreise, unabhängig ist; dafs nicht der Muskel, wie Nobili voraussetzte, das negative, der Nerv das positive Element der Froschkette sei, sondern dafs die Verbindung von je zwei Punkten der Länge des Frosches, von denen jedoch nur einer, nach Matteucci's bisherigen Angaben, auf dem Rumpfe des Thieres gelegen sein dürfte, den Strom in gleicher Kraft und Richtung hervorzurufen vermöge. Durch diese Entdeckung fallen die ältere Volta'sche Theorie, Nobili's thermoelektrische Hypothese, der freilich, aufser de la Rive, nicht leicht ein zweiter Physiker die Hand gereicht haben mochte, endlich die elektrochemische Vorstellung von dem Wesen des Stromes, welcher auch ihr Urheber sei, in sich zusammen. Der geheimnifsvolle Umstand der auch unter den mannigfaltigsten Bedingungen stets sich gleichbleibenden Richtung der Wirkung von der Peripherie nach der Hirnrückenmarksaxe hin ist ans Licht gezogen, und spiegelt bis auf Weiteres eine unmittelbare Beziehung irgend einer Art auf die Thätigkeiten des Nervensystemes vor. Endlich liegt in der hier begonnenen Prüfung des Sinns und der Stärke der Ströme, die man von allen möglichen Theilen des Frosches in allen möglichen Lagen erhält, der natürliche Keim der Methode, welche auf dem kürzesten Wege zur Kenntnifs des Muskelstromes und einer richtigen Vorstellung von dem Wesen des sogenannten Froschstromes führen mufste; einem Wege, den Matteucci freilich nicht weiter zu verfolgen gewufst hat, an dessen Ausgangspunkt wir

uns aber im Beginn unserer eigenen Untersuchungen nicht vergeblich stellen werden.

### 3. Verzeichniſs von Matteucci's ferneren Arbeiten über den Froschstrom und die zunächst damit verwandten Gegenstände bis auf die neueste Zeit.

Obschon in der Folge keine irgend erhebliche Aeuſserung Matteucci's vermiſst werden dürfte, so lag es doch in der Natur der Dinge, daſs beim Verweben derselben in die Darstellung meiner, nach einem anderen Plan geführten Forschungen, die Reihefolge, in der sie erschienen sind, mehr oder weniger verloren gehen muſste. Zur Erleichterung der Uebersicht folgt daher hier das möglichst vollständige Verzeichniſs der Arbeiten Matteucci's über den Froschstrom und die zunächst damit verwandten Gegenstände vom Monat October 1842 an, in welchem noch vor der zuletzt bereits erwähnten vom Monat November eine bemerkenswerthe Bekanntmachung stattfand, die jedoch im Obigen übergangen werden durfte. Die Aufsätze über Torpedo und über elektrische Reizversuche sind in diesem Ueberblick unberücksichtigt geblieben.

1842.

1) October d. J. — Ueber die secundäre Zuckung. S. unten, 3. Abschn., Kap. IV. §. 1. iv. — Comptes rendus etc. 17 Octobre. t. XV. p. 797.* — L'Institut. t. X. No. 461. p. 373.* — Annales de Chimie et de Physique. 3. Série. t. VI. p. 339. Avec fig.* — Archives de l'Électricité. t. II. p. 628. Avec fig.* — Omodei, Annali universali di Medicina. Maggio 1843. vol. CVI. p. 443.*

2) November d. J. — Aufser den bereits angeführten Abhandlungen schrieb Matteucci in dieser Zeit noch eine Vertheidigung des Froschstromes wider die Zumuthung, daſs derselbe auf elektrochemischen Wirkungen an der Grenze der thierischen Gebilde und der Flüssigkeiten beruhe, in welche sie, nebst den Multiplicatorenden, tauchen. — Annales de Chimie et de Physique. Ibid., p. 337.* — Archives de l'Électricité. Ibid., p. 626.*

1843.

3) Januar d. J. — Brief an v. Humboldt, vorzüglich über Stromentwickelung im Augenblick der Zusammenziehung. S. unten, 3. Abschn., Kap. IV. §. 1. — Comptes rendus etc. 23 Janvier. t. XVI. p. 197.* — L'Institut. t. XI. No. 475. p. 36.*

4) April d. J. — Auszüge aus einem bevorstehenden gröſseren

Werke über thierische Elektricität. — Annales de Chimie et de Physique. Ibid., t. VII. p. 425. Avec fig. * — Archives de l'Électricité. t. III. p. 5. Avec fig. * — Annales des Sciences naturelles. 2 Série. t. XIX. Zoologie. p. 313. Avec fig. *

## 1844.

5) *Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux.* p. 1—141. pl. I—III. Die Vorrede ist December 1843 unterschrieben. Es ist die vollständige Sammlung von Matteucci's Arbeiten im Gebiete der thierischen Elektricität und der elektrischen Reizversuche bis zu diesem Zeitpunkt; enthält nichts Neues von Bedeutung. Wird in der Folge nur kurz als »*Traité etc.*« angeführt werden.

6) März d. J. — Brief an Dumas, über eine Säule aus lebenden Tauben. S. unten, 3. Abschn., Kap. VIII. §. I. — Comptes rendus etc. 11 Mars. t. XVIII. p. 443. * — L'Institut. t. XII. No. 533. p. 90. *

7) Juni d. J. — In einer Abhandlung über das elektrochemische Aequivalent der Muskelaction — s. unten, 2. Abschn., Kap. II. §. II. — sind die Angaben über die Taubensäule vervollständigt und ausgedehnt. — Annales de Chimie et de Physique. Ibid., t. XI. p. 403. *

8) September d. J. — Darstellung von Matteucci's vornehmsten Versuchen, in einem Vortrage, gehalten auf der Brittischen Naturforscherversammlung zu York. — Report of the fourteenth Meeting of the British Association for the advancement of Science; held at York in September 1844. London 1845. Transactions of the Sections. p. 38. * — The Philosophical Magazine. 3. Series. vol. XXVI. No. 171. February 1845. p. 175. *

9) October d. J. — Longet und Matteucci über das Nichtvorhandensein elektrischer Ströme in den Nerven. S. unten, 3. Abschn., Kap. VI. §. II. — Annales de Chimie et de Physique. Ibid., t. XII. p. 579. * — Lezioni sopra i fenomeni fisico-chimici dei corpi viventi. Pisa 1844. Lezione IX.

## 1845.

10) April d. J. — Ueber die Abhängigkeit der Stärke des Stromes von der des Athmungsvorganges, von Gasen, worin die Muskelkette gebracht wird, und der Einerleiheit von Frosch- und Muskelstrom. S. unten, 3. Abschn., Kap. II. §. IV. Kap. V. §. III. Kap. VIII. §. V. — Comptes rendus etc. 14 Avril. t. XX. p. 1096. * — L'Institut. t. XIII. No. 590. p. 142. * — The Philosophical Magazine. Ibid., p. 534. *

11) Ueber die Einerleiheit von Frosch- und Muskelstrom (S. unten, 3. Abschn., Kap. II. §. IV.) unter der Aufschrift: »*On the proper Current*

*of the Frog*« in Philosophical Transactions etc. For the year 1845. p. II. p. 297.* Received Mai 7, — Read June 19; — gezeichnet vom 7. April d. J.

12) Mai d. J. — Ueber die Abhängigkeit der Stärke des Stromes von dem Athmungsvorgange und dem Aufenthalt der thierischen Theile in Gasarten (S. unten, 3. Abschn., Kap. V. §. III. Kap. VIII. §. V.) unter der Aufschrift: »*The Muscular Current.*« Ibid., p. 283.* Received Mai 7, — Read June 5. — The Philosophical Magazine. vol. XXVI. p. 391.*

13) Juli d. J. — Ueber die secundäre Zuckung (S. oben No. 1) unter der Aufschrift: »*On Induced Contractions.*« Ibid., p. 303.* Received July 23, — Read November 20.

14) September d. J. — Kritik meiner Untersuchungen in einem Briefe an Dumas unter der Aufschrift: »*Expériences sur les phénomènes de la contraction induite.*« Annales de Chimie et de Physique. Ibid., t. XV. p. 64.* — Archives de l'Électricité. t. V. p. 382.* Vergl. unten, 3. Abschn., Kap. II. §. IV. Kap. IV. §. I. Kap. V. §. III.

## Drittes Kapitel.

### Bemerkungen über Valentin's Arbeiten im Gebiete der thierischen Elektricität.

Ich glaube gegen den Deutschen Leser eine Pflicht zu erfüllen, wenn ich, ehe ich an die Darstellung meiner eigenen Untersuchungen gehe, es noch versuche, ihm ein Bild auch dieser Arbeiten vorzuführen. Dies geschieht weniger, um die Bedenken zu heben, denen sich, im Vertrauen auf den berühmten Namen ihres Urhebers, der eine oder der andere in Betreff des Daseins des Froschstromes bereits hingegeben haben möchte, als um das Unwesen zu entlarven, welches sich in denselben, noch dreister als in anderen neueren Leistungen dieses Schriftstellers, breit macht, und dem verderblichen Einfluſs vorzubauen, den eine solche Mifshandlung der Wissenschaft, hinter dem trügerischen Schilde eines solchen Namens ungestraft fortgesetzt, über kurz oder lang, hier oder dort, auszuüben nicht unterlassen würde.

Ich übersehe nicht, welche Vorurtheile es gegen mich erwecken muſs, wenn ich, noch vor Ablegung meiner eigenen Proben, kaum daſs so manche herbe Anklage gegen Matteucci verhallt ist, nun laut und rücksichtslos gegen Valentin meine Stimme erhebe. Allein ich suche und finde meine Rechtfertigung in dem Zustande des Gebietes der Wissenschaft, auf dem wir uns bewegen. Es giebt eine Entwickelungsstufe der Disciplinen, wo die Kritik immerhin die Waffen aus der Hand legen und auf ihren Lorbeeren ausruhen mag. Die anorganische Physik und Chemie befinden sich zum gröfsten Theil in diesem Fall. Hier hat sich ein grofsartiger Besitz an Thatsachen im Bewuſstsein von Geschlechtern längst zu einem Widerlager unerschütterlicher Grundsätze zusammengefügt, gegen welches jede unwahre Bestrebung von selbst zerstiebt. Nicht so in den organischen Wissenschaften, am wenigsten in der thierischen Elektricität; sie sind noch in dem Kreifsen begriffen, dessen Wehen dort längst verschmerzt sind. Inmitten eines Gedränges

von Meinungen und aus der Luft gegriffener Hypothesen, zweideutiger Beobachtungen und voreiliger Schlufsfolgen, die elektromotorischen Fische ausgenommen, wie wenig Thatsachen unseres Gebietes, über deren Zuverlässigkeit, ja keine, über deren Deutung man einig wäre. Hier steht Nichts fest, scheint Alles möglich, wird von Vielen Alles geglaubt so gut wie Nichts. Gewifs ist eigenes, kräftiges und bedächtiges Schaffen das beste Mittel, sich dieser Wildnifs zu entziehen. Wenn aber minder bedenkliche Gemüther, im Trüben fischend, sich diese allgemeine Unsicherheit zu Nutz machen, die Verwirrung steigern und die Arbeit der Späterkommenden ins Endlose häufen; wenn es die glänzenden Namen des Tages sind, welche ihr Ansehen auf diese Weise mifsbrauchen; vor Allem aber, wenn die physikalische Methode, in der das Heil und die Zukunft der Physiologie liegt, Gefahr läuft, durch das ohnmächtige Gaukelspiel eines mit Flittern von Zahlen und Formeln, Kunstausdrücken und Gesetzen behangenen Zerrbildes auch nur auf einen Tag in den Augen der Menge um das unbedingte Vertrauen betrogen zu werden, welches ihr gebührt: dann tritt für die Wissenschaft der Fall der Nothwehr ein, Duldung wird zur Zaghaftigkeit, schonungslose Strenge zur Pflicht, die Kritik ist in ihrem Recht, an ihrem Ort. In dieser Ueberzeugung unterziehe ich mich getrost dem mühseligen und undankbaren Geschäft ihrer verneinenden Thätigkeit.

---

Die zweite Lieferung von Rudolph Wagner's »*Handwörterbuch der Physiologie mit Rücksicht auf physiologische Pathologie*«, welche im Frühjahr 1842 erschien, brachte einen Artikel über »*Elektricität der Thiere*« von G. Valentin in Bern. A. a. O. Bd. I. S. 251—310. Lobenswerth im Allgemeinen ist an demselben, dafs Valentin die oben S. 6 gerügte Vermengung der eigentlich physiologisch-elektrischen Erscheinungen mit den elektrischen Reizversuchen zu vermeiden gewufst hat, welche den Gegenstand eines besonderen Artikels unter dem Titel »*Galvanismus. (In seiner Einwirkung auf den thierischen Körper.)*« in demselben Bande S. 527—562 ausmachen. Der erstere Aufsatz zerfällt in zwei Abschnitte, deren einer die Erscheinungen der elektromotorischen Fische, der andere die sonstigen elektrischen Wirkungen der Thiere zum Vorwurf hat. Nur der letztere (A. a. O. S. 279), und auch von diesem nur ein geringer Theil, geht uns hier unmittelbar an.

»Um .... über alle hier in Betracht kommenden Punkte ein Ur»theil vorzubereiten und sicherere Sätze, so weit es der gegenwärtige

»Zustand der Physik erlaubt, zu gewinnen, schien es mir nothwendig,« — sagt VALENTIN, — »fast sämmtliche hieher gehörenden »Experimente zu wiederholen.« (S. 281.)

Hiezu stand ihm ein SCHRÖDER'scher Multiplicator von 3300 Windungen zu Gebot. »Da alles Kupfer mit etwas Eisen verunreinigt ist, »so waren bei dem Instrumente die dann nothwendigen Störungen durch »den Erdmagnetismus [1] durch kleine mit Firnifs aufgeklebte Eisenstückchen aufgehoben.« Mehrere andere Mafsregeln, welche VALENTIN bei dem Gebrauch des Multiplicators an diesem selbst in Anwendung brachte, lasse ich unerwähnt, weil sie theils keinen Sinn haben, theils in unverständlicher Weise mitgetheilt sind. »Die Empfindlichkeit des Instru»mentes war auch so grofs, dafs, wenn man zur Leitung Platindrähte »gebrauchte, die blofse Eintauchung der beiden mit Glaspincetten gefafsten Leitungsdrähte in ein mit destillirtem Wasser gefülltes Gefäfs eine »Abweichung der Magnetnadel, die selbst bisweilen bis 5 — 8° stieg, »in der Regel aber 1 — 3° betrug, erzeugte. Ein einfaches Zink»Kupferplattenpaar von Einer Quadratlinie Durchmesser [2] drehte die »Nadel im Kreise herum.« (Ebendas.)

VALENTIN erkennt im thierischen Körper die Möglichkeit dreier Klassen von Strömen an: »1) Contactelektrische oder minder gut be»zeichnet, chemisch-elektrische. 2) Thermoelektrische und 3) vital»elektrische.« (Ebendas.)

Unter den contactelektrischen Strömungen sind solche zu denken, welche durch Anlegen der beiden Enden eines gleichartigen Metallbogens an ungleichartige Körpertheile hervorgerufen werden (Ebendas. und S. 282). Um zu verstehen, wie VALENTIN dazu komme, Ströme so verwickelten Ursprungs, ohne jede weitere Begründung, ohne vorausgeschicktes Glaubensbekenntnifs als strenger Contactist, so entschieden als aus der blofsen Berührung entsprungen anzusehen, mufs man sich erinnern, dafs das verderbliche Halbwissen, ja die vollendete Begriffslosigkeit leicht zu einer Schärfe der Meinungen führen, wovon sich die tiefste Kenntnifs und die gewiegteste Erfahrung nichts träumen lassen. [3]

[1] ? S. unten, 2. Abschn., Kap. I. §. 11. 7 und 8. Von den Ablenkungen durch die Drahtmassen, und von ihrer Berichtigung.

[2] Entsprechende Mafsbestimmungen finden sich S. 278. 296. 302. 303. Artikel Galvanismus S. 532. 534 (zweimal). 548.

[3] Ich wünschte dieser Rüge halber nicht für einen Anhänger der chemischen Hypothese von dem Ursprung des VOLTA'schen Stromes gehalten zu werden. Meine Farbe in dieser grofsen Verhandlung, bei welcher es, wenn ich nicht sehr irre, noch an irgend einem Hauptzeugen gebricht, ist vielmehr die, welche sich, der exacten Forschungsmethode getreu, bis auf Weiteres um POGGENDORFF's Worte

Was den Sitz der elektromotorischen Kraft in Valentin's contactelektrischen Ketten an feuchten thierischen Gebilden betrifft, so sucht er ihn bei einem Theil seiner Versuche und Erörterungen zwischen den ungleichartigen Flüssigkeiten und den Metallen, bei einem anderen hingegen, ganz nach Belieben, an der Grenze der ungleichartigen Gewebe selbst (S. 294). Uebrigens verwirft Valentin die chemische Hypothese nicht gerade mit unerbittlicher Consequenz. An mehreren Stellen giebt er sich sogar so weit nach, die contactelektrischen Strömungen als ganz und gar durch den chemischen Vorgang zwischen Flüssigkeiten und Metallen hervorgebracht anzusehen (S. 283. 287. 289); wozu er sich auch anderwärts einen bequemen Uebergang bahnt, indem er die elektrische Terminologie mit dem Ausdruck: »contactchemische Wirkung« bereichert (S. 288).

Auf solche theoretische Feinheiten kommt es indefs hier gar nicht an. Dagegen darf billig gefragt werden, aus welchem Rechte diese Ströme in einer Abhandlung über »Elektricität der Thiere« einen Platz gefunden haben, da doch die einfachste, von uns bereits in der Einleitung (S. oben S. 4) angestellte Betrachtung zu lehren scheint, dafs sie aus dem Gebiete der physiologischen Elektricität zu verbannen seien. Donné's Strömen zwischen ungleichartigen Absonderungsorganen, welche mit den hier gemeinten am nächsten übereinkommen, ist damals, wie man sich erinnert, nur vorläufig eine Stelle in demselben eingeräumt worden, weil es nämlich zweifelhaft sei, ob sie, wie ihr Entdecker ohne Weiteres angenommen hat, auch im unversehrten Körper ohne Anlegung eines Metallbogens zugegen seien oder nicht (S. oben S. 4. 5. 9. 26). Von einem Zweifel der Art ist bei Valentin keine Rede; die Möglichkeit, dafs etwas seinen contactelektrischen Strömen Aehnliches, als Folge der nämlichen Ungleichartigkeiten, auf denen sie beruhen, auch aufserhalb der Bedingungen seiner Versuche in dem thierischen Körper vorgehen könne, wird mit keiner Sylbe erwähnt. Erst unter der Aufschrift »vital-elektrische Ströme« S. 296 heifst es, allein aufser jedem Zusammenhang mit dem erörterten Gegenstande: »Da der »thierische Körper aus einer Menge theils permanent, theils nach den

geschaart halten könnte: »die Contact-Theorie sei nicht widerlegt und »die chemische Theorie nicht erwiesen« (Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 210*). Allein wenn ich schon solchen, die, bei genauer Einsicht in die vorliegenden Beweisstücke, sich bereits entschieden für die eine oder die andere Ansicht aussprechen, meinen Beifall zu schenken anstehen mufs, so halte ich den Leichtsinn für unbedingt verdammenswürdig, der in der Laune des Augenblicks über Fragen des Jahrhunderts abspricht, selbst wenn es meine Vorstellungsweise sein sollte, die er dabei in die Welt hineinruft.

»verschiedenen Lebensthätigkeiten wechselnder, chemisch verschiedener »Substanzen besteht, so müssen diese bei ihrem gegenseitigen Contacte »elektrochemische Spannungen und Strömungen hervorrufen.« Dann sieht man aber in der That nicht ein, wo hier die Grenze sei; warum nicht auch durch Anlegen ungleichartiger Metalle an gleichartige thierische Theile erzeugte Ströme eine eigene Klasse thierisch-elektrischer Strömungen ausmachen, um so weniger, als unter VALENTIN's thermoelektrischen keine anderen verstanden sind als solche, die in passend vorgerichteten Metallkreisen durch Berührung thierischer Theile von ungleicher Temperatur entstehen (S. 281. 295).

Indessen fällt, in VALENTIN's Sinne, die Schuld dieser Verwirrung seltsamerweise nicht sowohl ihm, als denjenigen zur Last, die vor ihm dem Froschstrom als eine physiologisch-elektrische Erscheinung angesprochen haben. Der Froschstrom ist nämlich, seiner Meinung nach, nichts weiter als eine contactelektrische Wirkung der obigen Art. Nicht als ob ihm die Beweise noch immer nicht ausreichend erschienen, die MATTEUCCI, wie wir oben sahen (S. 115 ff.), in fast jeder neuen Mittheilung gegen die elektrochemische und alle ähnlichen Deutungen des Stromes und für seinen Ursprung im Innern der lebendigen Gewebe beizubringen bemüht gewesen ist: diese Beweise kennt VALENTIN nicht. Dem Herausgeber des »*Repertoriums für Anatomie und Physiologie*« hat diese ganze Angelegenheit auf einem Gebiete, auf dem er als selbstständiger Forscher aufzutreten keinen Anstand nimmt, in dem Mafs fremd bleiben können, dafs er sich einfach vorstellt, MATTEUCCI habe mittelst seiner Vorrichtung mit den vier Gefäfsen mit Salzlösung in der That nichts Anderes bezweckt, als Ungleichartigkeiten an der Oberfläche des Frosches nachzuweisen. So unerklärlich es bleibt, wie VALENTIN selbst dieser Frage irgend ein Interesse hat abgewinnen und sich im Ernst hat einbilden können, dafs vor ihm andere Forscher sich mit der Beantwortung derselben beschäftigt haben: dieses tiefe Mifsverständnifs bildet gleichwohl 14 enggedruckte Seiten und mehr hindurch die Grundlage und den sammelnden Faden für viele Hunderte von Versuchen. Es versteht sich von selbst, dafs wir auf diese Weise eigentlich jeder ferneren Berücksichtigung dieser Versuche überhoben sein würden, wenn nicht die am Eingange dieses Kapitels angestellten Betrachtungen wären, wodurch wir uns bewegen lassen, nichtsdestoweniger nähere Kenntnifs davon zu nehmen. Begreiflich kann, nach solchen Vordersätzen, die Hoffnung, trotz dem verkehrten der Untersuchung untergelegten Zwecke, für uns wichtige Verhältnisse durch dieselbe aufgedeckt zu sehen, nur geringen Antheil an diesem Entschlusse haben.

Wir beginnen mit Valentin's Versuchen an Matteucci's (Nobili's) Vorrichtung, da es wahrscheinlich ist, dafs auch er den Anfang damit gemacht hat, obschon er die auf seinem eigenen Wege gewonnenen Erfahrungen in den Vordergrund schiebt. Er erhebt sich zunächst gegen die Zahl der von Matteucci angewandten Gefäfse: »Von vorn »herein läfst sich gegen die ganze Construction des Apparats einwen»den, dafs die Anwesenheit der beiden inneren Gläschen und deren »Verbindung mit den beiden äufseren durch befeuchtete Baumwollen»dochte nur dazu dient, die Declinationen zu schwächen, ohne irgend »einen Vortheil zu bieten. Man überzeugt sich auch leicht, dafs sich »die Abweichungen verstärken, wenn man die Froschtheile in die bei»den äufseren Gläschen unmittelbar taucht.« (S. 287.) Jenen Vortheil haben wir, einer Andeutung Matteucci's zufolge, indefs bereits oben (S. 119) kennen gelernt. Er fährt fort zu gelten, wo man auch in der auf diese Weise angeordneten Froschkette den Sitz der elektromotorischen Kraft suchen möge.

Die Ausschläge, die Valentin an seinem Multiplicator von einem enthäuteten Frosch mittelst einer nach Matteucci's Vorschrift zusammengestellten Vorrichtung selbst nach Weglassung der beiden inneren Gefäfse erhält, betragen im Mittel nur ungefähr 5° (S. 287. 288). Daraus, dafs der unverletzte Frosch ganz eben so starke Wirkungen gab, und dafs dieselben auch bei öfterem Schliefsen der Kette nicht an Gröfse zunahmen (Ebendas.), geht, wie sich in der Folge aus unseren eigenen Untersuchungen ergeben wird, [1] mit Bestimmtheit hervor, dafs dieselben überhaupt gar nicht vom Froschstrom hergerührt haben. Man erinnert sich, dafs Nobili und Matteucci an ihren Multiplicatoren, von denen der eine dem Schröder'schen um 800 Windungen, der andere höchst wahrscheinlich um noch mehrere nachstand, 25 — 30° Ausschlag erhielten. Somit bleibt nur noch zweifelhaft, ob Valentin, beim Nachahmen von Matteucci's Vorrichtung, den Widerstand der feuchten Strecke zwischen dem Frosch und den metallischen Multiplicatorenden unnöthigerweise allzusehr vergröfsert habe, oder ob sein Nadelspiel nicht die hinreichende Beweglichkeit besafs. [2] Das letztere ist, bei dem

[1] S. unten, 3. Abschn., Kap. VIII. §. 1. 11.

[2] Dafs das Nadelspiel in der That wenig astatisch war, scheint sogar mit Nothwendigkeit aus einem S. 298 beschriebenen Versuche hervorzugehen, in dem unter andern »schwächere und stärkere Magnete an der Haut eines Frosches, dessen »zusammengebundene Füfse und zusammengeschnürte vordere Extremitäten in die »Quecksilbernäpfe des Galvanometers tauchten, in ähnlicher Weise bewegt wurden, »wie an magneto-elektrischen Drehmaschinen der Anker rasch hintereinander von »dem Magneten losgerissen und wieder an denselben durch geeignete Lage und »magnetische Attraction befestigt wird.« — Um zu verstehen, wie Valentin an sei-

stets so bedeutenden Widerstande thierischer Theile, bei weitem das wahrscheinlichere, um so mehr, als VALENTIN die Schwingungsdauer desselben anzugeben unterläfst, auf diesen Umstand also keine Aufmerksamkeit verwandt zu haben scheint, und als er es aufserdem schonungslos genug behandelt, um es dem Einflufs übermächtiger Ströme auszusetzen, die es mehreremale im Kreise herumzudrehen vermögen. S. 281. 296. Hemmungen hatte der SCHRÖDER'sche Multiplicator nicht, da sich häufig Winkelwerthe über 90° verzeichnet finden. S. 283. 288. 290. Nimmt man hinzu, dafs dem Obigen nach in VALENTIN's Kette elektromotorische Kräfte thätig waren, welche den Froschstrom an Wirksamkeit hinter sich lassen, so sieht man leicht, dafs hier bereits der schwache Faden jener oben berührten Hoffnung reifst, diese Versuche würden uns, ihrer Bedeutung in VALENTIN's Sinne ungeachtet, mit irgend einer neuen Erfahrung über unseren Gegenstand bereichern können.

VALENTIN, ohne sich an dem Mangel an Berechtigung jedes verneinenden Erfolges einem bejahenden gegenüber zu stofsen, schreibt die Kleinheit der an MATTEUCCI's Vorrichtung beobachteten Ausschläge statt der Art und Weise, wie er dieselbe ausgeführt habe, ohne Weiteres ihrem Grundprincip zu. Es ist eine bekannte, von FECHNER [1] zuerst gewürdigte Thatsache, dafs die Wirkung der BECQUEREL'schen und ähnlichen Ketten durch Einschaltung gleichartiger Flüssigkeiten zwischen die gleichartigen Multiplicatorenden und die ungleichartigen Flüssigkeiten ausnehmend geschwächt wird. Unter der Voraussetzung von Ungleichartigkeiten an der Oberfläche des Frosches, die auf dem Wege dadurch verursachter Strömungen nachgewiesen werden sollten, würde es demnach in der That am gerathensten sein, die auf ihre Gleichartigkeit geprüften metallischen Multiplicatorenden selbst mit den thie-

nem Multiplicator Platz finden konnte, einen Frosch z. B. mit den Füfsen in das eine, mit dem Kopfe in das andere Quecksilbergefäfs zu tauchen, was unten noch öfter vorkommen wird, mufs man eine Einrichtung an demselben kennen, die VALENTIN selbst dem Leser überläfst, aus verschiedenen zufälligen Andeutungen sich zusammenzudenken, indem er sich wahrscheinlich vorstellt, dafs sie an allen Instrumenten vorhanden sei (S. 281. 295. 302. 99.). Die Enden des Drahtes waren an demselben nämlich an zwei senkrechte vermuthlich den Multiplicatortisch durchsetzende Kupferbolzen gelöthet, um welche sich längere Arme von Kupferblech (Kupferbügel nennt sie VALENTIN) in wagrechter Ebene drehten, deren freie Enden erst die erwähnten Quecksilbernäpfchen trugen. Mir selbst ist diese Einrichtung nie zu Gesicht gekommen, auch sehe ich ihren Nutzen nicht ein. Die jetzt an elektrischen Geräthschaften allgemein übliche Verbindungsweise durch Schraubenklemmen (S. z. B. Fig. 18. Taf. I.) scheint VALENTIN unbekannt geblieben zu sein.

[1] POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVIII. S. 18 ff.

rischen Theilen in Berührung zu bringen. Möglicherweise ist es eine Betrachtung der Art, wodurch Valentin bewogen wurde, nunmehr diesen Weg einzuschlagen; auseinandergesetzt findet sie sich nicht bei ihm, und es scheint eher, als habe er sich blindlings durch die vorgefafste Ansicht leiten lassen, der Froschstrom sei eine contactelektrische Erscheinung an der Grenze thierischer Theile und an diese gelegter Metalle, Matteucci aber habe jener unbeholfenen Verwickelung des Versuchs nur deshalb die Hand gereicht, um gewissen Schwierigkeiten, welche kennen zu lernen uns noch bevorsteht, desto sicherer zu entgehen. (S. 286.)

Valentin beabsichtigt also jetzt, dem Frosche gleichartige metallische Multiplicatorenden anzulegen. Dies geschieht zunächst unter Anwendung einer Reihe von Mafsregeln, die ein zu charakteristisches Beispiel von seiner Untersuchungsweise abgeben, als dafs ich es dem Leser ersparen könnte, mich auf einer kurzen Musterung derselben zu begleiten.

Bei der Langsamkeit, womit unbegreiflicher Weise eine Entdeckung von so einleuchtender und unberechenbarer Wichtigkeit wie das Ohm'sche Gesetz [1] sich selbst unter den Elektrikern von Fach Bahn gebrochen hat und zum Theil noch bricht, soll es Valentin nicht zum Vorwurf gemacht werden, dafs er dasselbe noch 1842 auch nicht einmal dem Namen nach zu kennen scheint. Man sieht ihn daher zu wiederholten

[1] Die Physiologen, die bei Lesung dieses Werkes den Wunsch empfinden sollten, sich mit dem Ohm'schen Gesetze näher bekannt zu machen, verweise ich auf die in Dove's Repertorium der Physik. Bd. V. Berlin 1844. S. 174 ff. aufgeführte Literatur. Zur elementaren Kenntnifsnahme dürften Fechner's Auseinandersetzungen im 3. Bande der Uebersetzung des Biot'schen Lehrbuchs u. s. w. am geeignetsten sein. — Da die Terminologie für die verschiedenen Elemente der Ohm'schen Formel und ihre Zusammenstellungen noch immer in einem gewissen Schwanken begriffen ist, so bevorworte ich hier ein für allemal, dafs ich mit Stromstärke den Quotienten aus dem Widerstande in die elektromotorische Kraft, und mit Dichtigkeit des Stroms an einer bestimmten Stelle des Kreises denjenigen aus dem Querschnitt dieser Stelle in die Stromstärke zu bezeichnen pflege. Da, nach den Ohm'schen Grundsätzen, die Stromstärke, d. h. das Product aus der Elektricitätsmenge in ihre Geschwindigkeit, in jedem Querschnitt der Kette eine und dieselbe ist, so müssen die Elektricitätsmengen, die zwischen je zwei gleichweit von einander entfernten Querschnitten strömen, dem eigenthümlichen Widerstande der entsprechenden Strecken proportional sein, weil ihre Geschwindigkeiten ihm umgekehrt proportional sind. Auch in der Längsrichtung des Stromes kann also von einer Dichtigkeit desselben die Rede sein; diese kommt meines Wissens indefs, vermöge der in gleichem Mafse verminderten Geschwindigkeit, bei keinem jetzt bekannten Verhältnifs in Betracht, und es scheint daher bis auf Weiteres keinen fühlbaren Uebelstand mit sich zu bringen, wenn jenem Ausdruck einstweilen der eben festgesetzte Begriff untergestellt wird.

Malen (S. 281. 283 [zweimal]. 302) mit grofser Sorgfalt bemüht, die Leitungsfähigkeit der metallischen Kettenglieder zwischen den feuchten thierischen Theilen und den Enden des Multiplicatordrahts nach Möglichkeit zu erhöhen, obschon, wie wir wissen, dieses Bestreben ganz überflüssig und die Ergebnisse, in denen er den Beweis seines Gelingens zu erblicken meint, illusorisch sind, da der Widerstand dieser Glieder, auch bei aufserordentlich viel gröfserer Länge und Dünne derselben, gegen den der 3300 Windungen jenes Drahtes, geschweige den der thierischen Theile, noch völlig verschwindend ausfallen würde.

Schwerer zu entschuldigen ist bereits, dafs Valentin, bei seiner Vorliebe für Contactelektricität, das alte Volta'sche Gesetz der galvanischen Spannungsreihe fremd geblieben ist, demzufolge die Zusammensetzung eines mit gleichartigen Enden in eine Flüssigkeit tauchenden Metallbogens aus beliebig vielen und verschiedenen Metallen niemals im Stande ist, eine Störung des elektrischen Gleichgewichtes in einem solchen Kreise zu bewirken. Er giebt sich der zarten Besorgnifs hin, die Amalgamirung der in die Quecksilbernäpfe seines Multiplicators tauchenden, andererseits die thierischen Theile berührenden metallischen Schliefsungsstücke, möchte einen Einfluſs auf die Ergebnisse seiner Versuche gewinnen (S. 283. 284). Dabei verdient ein Umstand bemerkt zu werden, durch den er wahrscheinlich noch tiefer in diesen Irrthum hinabgezogen worden ist. Er erhielt nämlich an seinem Multiplicator stets Ausschläge, welche denen, die ihm ein unversehrter Frosch an Matteucci's Vorrichtung noch bei Anwesenheit der beiden inneren Gläschen ertheilte, um nichts nachstanden, wenn er zwischen den beiden Quecksilbernäpfen des Instruments mittelst einfacher metallischer Bögen schlofs. Sie folgten »in aufsteigender Reihe als Messing, über»silberter Kupferdraht, Platin, Stanniol, Eisen und ausgeglühter Stahl.« (S. 287.) Anderwärts findet er die Reihe: Platinblech, übersilberter Kupferdraht, Messingdrähte und ausgeglühter Stahldraht, Zinkblech, Platindraht (S. 282). Noch anderwärts ist diese Reihe: Platindraht, Platinblech, übersilberter Kupferdraht und Messingdraht, ausgeglühter Stahldraht, Zinkblech, Eisendraht (S. 285. 286). Thermoëlektrischen Ursprungs können diese Wirkungen, welche sich, der obigen Angabe gemäfs, bis auf 9° belaufen haben (S. 287), bei den 3300 Windungen des Multiplicatordrahts nicht füglich gewesen sein. Man hört auf, sich über ihr Erscheinen zu wundern, wenn man erfährt, dafs Valentin als das beste Verfahren, um Quecksilber zu diesem Behufe zu reinigen, anempfiehlt, dasselbe mit Löschpapier von anhaftendem Wasser und mit dem Finger von etwaigen Resten thierischer Theile zu befreien (S. 283). Derselbe Umstand mufste begreiflich auch dann stattfinden,

wenn von den Quecksilbernäpfen aus metallische Brücken nach den thierischen Theilen geschlagen wurden. Aber so weit entfernt war Valentin von jeder Ahnung des erwähnten Gesetzes, dafs er, anstatt in diesen Strömen einen der gröbsten Uebelstände zu erblicken, dem irgendwie und schleunigst abzuhelfen sei, über dieselben vielmehr mit derselben Unbefangenheit berichtet, als ob er ein Kupferzinkplattenpaar in seinem Kreise gehabt hätte, ja sie in der That mehreremal unmittelbar mit Wirkungen anerkannt hydroëlektrischen Ursprungs zusammenstellt (S. 282. 286. 287).

Noch überraschender erscheint jedoch folgende Behauptung Valentin's: »Eine sehr nothwendige Vorsichtsmafsregel besteht noch darin, »dafs beide Leitungsdrähte genau dieselbe Gröfse und Masse haben. »Findet Ungleichheit statt, so erhält schon dadurch die Magnetnadel »die Tendenz nach der Seite hin, wo der kürzere und weniger mas»sige Draht sich befindet, abzuweichen. Bei scheinbar noch unbedeu»tender Ungleichheit der Leiter wird diese Störung so grofs, dafs die »Magnetnadel immer in bezeichneter Richtung hin declinirt und dafs »alle durch die thierischen Theile erzeugten Strömungen auf diese Art »gar nicht oder getrübt zum Vorschein kommen.« (S. 282.) »Da die »Contactelektricität selbst, welche von den Hautstellen erzeugt wird, »so gering ist, dafs die durch Aufsenverhältnisse entstehenden Abnor»mitäten dieselben überwiegen, so fallen alle Versuche, bei welchen »die Leitungsdrähte an Gewicht und Länge ungleich waren, von selbst »hinweg.« (S. 286.) »Es wurden daher die beiden Leitungen nicht »nur der Gröfse nach gleich abgemessen, sondern auch auf einer »chemischen Wage genau tarirt.« (S. 282. Vergl. S. 284. 291. 292. 294.)

Wir haben hier beiläufig das erste Beispiel einer Eigenheit der Darstellung Valentin's, die uns später noch in ausgedehntem Mafsstab entgegentreten wird, der nämlich, dafs man in seiner Abhandlung fast überall über die Richtung der Ströme im Dunkel bleibt. Die ohne alle Verständigung nackt hingestellten Worte: »die Magnetnadel erhält schon »dadurch die Tendenz nach der Seite hin, wo der kürzere und weniger »massige Draht sich befindet, abzuweichen« und die entsprechenden Bezeichnungen S. 286. 292. 294. können höchstens für den Physiker vermuthungsweise einen Sinn haben, dem es vorschwebt, dafs auch Fechner sich einmal, [1] allein nach vorläufiger ausdrücklicher Uebereinkunft mit dem Leser, des Ausdrucks bedient hat: »der Ausschlag

[1] In seiner Abhandlung über die Becquerel'sche Kette u. s. w. in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVIII. S. 12.

»erfolgt nach der Seite der Salpetersäure hin«, um z. B. zu bezeichnen, dafs der Strom, in der Flüssigkeit, vom Alkali zur Säure sich begiebt. Allein auch Dieser würde über die Richtung des Stromes noch ungewifs bleiben, da man nicht errathen kann, wie VALENTIN dieselbe genommen wissen will, ob von dem längeren und schwereren Drahte zu dem kürzeren und leichteren in der Flüssigkeit, oder in dem Multiplicatordraht.

Glücklicherweise verlieren wir hier nur wenig an der Kenntnifs der Richtung, in der die neue, von VALENTIN entdeckte Quelle gestörten elektrischen Gleichgewichtes ihre Wirkung äufsern soll. Der Physiker hat diese Behauptung mit einem Lächeln vernommen, welches mich jeder weiteren Erörterung derselben überhebt. Jeder andere mag sich für versichert halten, dafs vor und nach VALENTIN's Auftreten auf diesem Gebiete, die Nadeln zahlreicher Instrumente, welche das seinige an Empfindlichkeit weit hinter sich liefsen, bei geschlossenem Kreise, in dem gleichartige Multiplicatorenden in gleichartige Flüssigkeit tauchten, auf Null gestanden haben, ohne dafs Wage, Zirkel und Mafsstab jemals deshalb belästigt worden wären. Etwaige Zweifel, die in dieser Hinsicht zurückbleiben sollten, ist übrigens das Verfahren zu beseitigen geeignet, welches VALENTIN selbst beim Tariren seiner Drähte und Bleche befolgte. S. 291 heifst es, es seien »als Leiter gleich lange, zweckmäfsig gebogene Zinkbleche, die vorher auf der chemischen Wage genau tarirt, dann mit Eiweifs [1] bestrichen, hierauf an zwei entsprechenden Enden abgefeilt und von Neuem tarirt worden sind, zu gebrauchen.« Man sieht, dafs der genaue Arbeiter am Ende seiner Operation allerdings ein gleiches Gewicht

$$[\text{Zink}] + [\text{Eiweifs}] = [\text{Zink}]_1 + [\text{Eiweifs}]_1$$

übrig behielt, was jedoch schwerlich das war, was er sich im Beginn derselben vorsetzte, da aus dieser Gleichung bekanntlich nicht nothwendig

$$[\text{Zink}] = [\text{Zink}]_1$$

hervorgeht. Hervorzuheben ist noch, dafs, nach VALENTIN's Vorstellung, bei Anwendung von Quecksilber als metallischem Multiplicatorende, wie auch bei Einschaltung einer gröfseren Flüssigkeitsschicht zwischen diesen Enden und den thierischen Theilen, jene Vorsichtsmafsregel unnütz wird. Wenigstens hat er selbst sich, bei einem grofsen Theil seiner Versuche, wie wir später sehen werden, des Quecksilbers zu diesem Behufe bedient, ohne dafs jemals vom Tariren

[1] Dem in Wasser mit schwach alkalischer Reaction löslichen Eiweifs hat VALENTIN bei seinen elektrischen Geräthschaften als Firnifs den Vorzug gegeben.

desselben und der genau gleichen Länge der flüssigen Metallsäule die Rede wäre; und ebenso spricht er anscheinend Matteucci's Vorrichtung von der Verdächtigung frei (S. 286), die er, mit jener Behauptung, über fast alle vor ihm angestellten Multiplicatorversuche ausgiefst.

Noch eine Vorsichtsmafsregel will Valentin bei diesen Versuchen beobachtet wissen, deren Nutzen mindestens sehr zweifelhaft ist. Es ist die der gleichen Ausdehnung beider Berührungsflächen zwischen den feuchten thierischen Theilen und den metallischen Multiplicatorenden (S. 286. 289. 292. 294). Es ist schon mehrfach behauptet worden, und diese Aussage knüpft an die Erscheinung von Zamboni's zweigliedriger Säule an, dafs mit einer solchen Ungleichartigkeit an und für sich eine elektromotorische Wirkung in dem sonst gleichartigen hydroëlektrischen Kreise gesetzt sei. [1] Auch Matteucci hat bei seinem neueren Verfahren zur Untersuchung thierischer Theile [2] diesen Umstand in Berücksichtigung gezogen. Einerseits indefs widersprechen sich die Angaben über die Richtung, in der der Flächenunterschied wirksam sein soll, was übrigens auch bei der Zamboni'schen Säule der Fall ist, andererseits ist eine solche Wirkung überhaupt von späteren Beobachtern in Abrede gestellt worden, die mit den Schwierigkeiten, an und für sich gleichartige Metallflächen zu erhalten, unvergleichlich besser bekannt waren. [3] Offenbar aber ist in Erwägung eben dieser Schwierigkeiten, von denen alsbald, wie auch im zweiten Abschnitte dieses Werkes (Kap. I. §. III.) noch mehrfach die Rede sein wird, die Wahrheit hier auf Seiten der Verneinung zu suchen. Ich selbst habe wenigstens Jahre lang die Nadel meines so empfindlichen Multiplicators bei geschlossenem Kreise, in dem gleichartige Platinflächen, auf deren Gleichheit durchaus keine besondere Sorgfalt verwandt worden war, in gleichartige Flüssigkeiten tauchten, auf Null einstehen sehen.

Die bisher besprochenen Mafsregeln Valentin's sind der Art, dafs sie, zwar an sich den hier ohnedies bereits hinreichend geängsteten Beobachter noch mit einer Last ganz vergeblicher Sorgen überschüttend, doch wenigstens nicht, den Pfeil auf die eigene Brust zurückwendend, die Richtigkeit der Ergebnisse selbst untergraben. Hiedurch unterscheiden sie sich vortheilhaft von denjenigen, welche jetzt Gegenstand der Erörterung werden.

Es handelt sich, nach diesen Vorbereitungen, nämlich nur noch darum, welchem Metalle, behufs des unmittelbaren Anlegens an die

[1] Vergl. Biot's Lehrbuch der Experimental-Physik u. s. w. Deutsch von Fechner u. s. w. Bd. III. S. 113.

[2] S. unten, 2. Abschn., Kap. I. §. III. 4. Matteucci's neueres Verfahren.

[3] Fechner a. a. O.

thierischen Theile, der Vorzug zu geben sei. Der Grundsatz, der bei dieser Wahl leiten mufs, ist offenbar der, sich keinesweges durch die Gröfse der Wirkung, sondern durch die Sicherheit der Gleichartigkeit bestimmen zu lassen, welche ein gewisses Metall unter diesen Umständen gewährt, da es viel weniger auf den Spafs ankommt, die Nadel auf der Theilung herumwirbeln zu sehen, als darauf, dafs man genau wisse, woher eine beobachtete, wenn auch noch so kleine Wirkung kommt. Alsdann war jedes Lehrbuch [1] im Stande, VALENTIN zu unterrichten, wie er das positive Ende der Spannungsreihe zu fliehen, das negative aufzusuchen hatte; indem die Erfahrung zeigt, dafs Zink, Eisen, Zinn, ja noch Kupfer, wie sie, als Elektroden in den Kreis einer beliebigen Kette eingeschaltet, den Strom derselben weniger schwächen, als die negativeren Metalle, Silber, Gold, Platin, so auch als Multiplicatorenden in gleichartige oder wenig ungleichartige Flüssigkeiten getaucht, einen Sturm von regellosen und übermächtigen Wirkungen erregen, durch den hindurch es unmöglich ist, die Stimme irgend eines Gesetzes zu vernehmen. Die sinnreichen Ahnungen VOLTA's über die möglichen Ungleichartigkeiten der Oberfläche eines und desselben Metallstückes, deren wir im Beginn der Geschichte des Froschstroms zu gedenken Gelegenheit hatten, sind im Lauf der Jahre, und mit Hülfe des elektromagnetischen Rheoskops, zur Gewifsheit geworden. Wir wissen jetzt, dafs die Vorstellung einer aus bestimmten unwandelbaren Abständen gebildeten Spannungsreihe, wie man sie damals hegen mochte, in der Erfahrung nicht verwirklicht gefunden wird, wo die Stellung eines jeden Metalles vielmehr innerhalb gewisser Grenzen schwankt, deren Entfernung zwar in den meisten Fällen verschwindend sein mag gegen die zwischen der oberen Grenze eines und der unteren des nächstfolgenden Metalles, indefs noch immer grofs genug ist, um bei Versuchen dieser Art die allergenaueste Berücksichtigung zu verdienen. Ein Mittel, diese Gegensätze zu verwischen, besteht darin, die Metallstücke in dem feuchten Leiter, in dem sie nachher gebraucht werden sollen, hinreichend lange Zeit zur Kette geschlossen stehen zu lassen; allein bei den Metallen positiveren Schlages gelangt man auch auf diese Weise nicht zum Ziel, vielleicht, weil diese Abgleichung zum Theil auf Compensation durch Polarisation beruht, deren dieselben bekanntlich weniger fähig sind. Wie man sich dem negativen Pole der Spannungsreihe nähert, nehmen zwar, unter gleichen Umstän-

[1] Das 35. Kapitel von FECHNER's mehrerwähntem Lehrbuch führt sogar die Aufschrift: »Elektrochemische Differenz der (scheinbar homogenen) Oberfläche einiger Metalle.« A. a. O. S. 422 ff.

den, die Wirkungen in einer Kette, in der Elektroden aus den hiehergehörigen Metallen eingeschaltet sind, in raschem Maſse ab, weil jener Widerstand an der Grenze der festen und flüssigen Leiter, gleichviel ob er dem Zähler allein, oder dem Zähler und Nenner der Ohm'schen Formel zugleich angehört, in eben so schnellem Wachsen begriffen ist; aber gleichzeitig ordnen sich die Erscheinungen, die edleren Metalle werden auch in sich selbst gleichartiger, die Nadel kommt mit Hülfe der Polarisation binnen kurzer Zeit auf Null zur Ruhe und kann nunmehr dienen, zarte, in die Kette eingeführte Ungleichartigkeiten mit Sicherheit zu unterscheiden. Das negativste der gebräuchlichen Metalle, das Platin, ist daher dasjenige, welchem hier der Vorzug gebührt.

Genau den entgegengesetzten Gang befolgte Valentin. Völlig unbekümmert um den Sinn dieser Wirkungen, glaubt er das Höchste erreicht zu haben, wenn es ihm gelungen ist, die Nadel in unermeſslichen Ausschlägen hin und her geschleudert zu sehen. Er wendet sich sonach der Gruppe der positiveren Metalle zu; allein er geht einen zu bedächtigen Schritt, als daſs er sich, rücksichtlich ihres verschiedenen Werthes in dieser Hinsicht, bei den Ergebnissen beruhigen könnte, bei denen die Elektriker selbst stehen geblieben sind. Der Weg, den er einschlägt, um zu bestimmen, welches Metall, in ungleichartige Flüssigkeiten getaucht, wohl die stärksten Wirkungen zu geben vermöchte, hat mindestens den Vorzug der Originalität.

Zuerst ward zwischen beiden Quecksilbernäpfchen des Multiplicators mit einem Bogen von dem zu prüfenden Metall geschlossen. Dies gab, wie wir zum Theil schon wissen (S. oben S. 137), an seinem Instrumente, für sämmtliche untersuchte Bögen, Platinblech ausgenommen, Wirkungen in beständiger Richtung, die sich in diesem Falle bis auf 1°.5 beliefen. Dann wurden zwei gleich abgemessene und genau tarirte Stücke Draht oder Blech von demselben Metall in destillirtes Wasser getaucht. Drittens wurden dieselben an die Mundspitze und den rechten Fuſsballen eines und desselben Frosches, der mit gewichster Seide in einem Korkrahmen schwebend aufgespannt und so isolirt erhalten wurde, angelegt. »Die Schliefsung geschah »natürlicher Weise mit Glaspincetten«; dagegen erfährt man nicht, ob die »Application« gleichzeitig, oder nacheinander für beide Metallstücke stattfand. Die Metalle waren: Platindraht, Platinblech, übersilberter Kupferdraht, Messingdrähte, ausgeglühter Stahldraht, Zinkblech. In diesem Wettkampf trug der übersilberte Kupferdraht, und nächst ihm das Zinkblech, den Sieg davon, indem sie die gröfsten Ausschläge gaben, welche übrigens bald in dieser, bald in jener Richtung erfolgten (S. 282).

Solchem Beginnen gegenüber läfst die Kritik die Arme sinken. Wir wollen uns kurz fassen. Was es mit den Strömen, die sich bei Schliefsung zwischen beiden Galvanometernäpfen kund gaben, für eine Bewandtnifs gehabt habe, ist oben S. 137 bereits angemerkt worden. Ueber den Einfall VALENTIN's, hier dergleichen Ströme zu gewärtigen, sie für einerlei zu halten mit den beim Anlegen gleichartiger Metalle an feuchte Leiter erhaltenen, und sie mit diesen in eine Zahlentabelle zusammenzustellen, ist das Elementarlehrbuch nachzusehen. Eine Erörterung darüber würde uns an dieser Stelle zu weit führen. Die übrigen Ausschläge sind nichts weiter, als die oben erwähnten in Gröfse und Richtung völlig regellosen Wirkungen, welche die erste Benetzung vornehmlich positiverer Metalle stets zu begleiten pflegen. Nur zufällig werden dieselben in ihrer wechselnden Stärke ein Bild der Spannungsreihe darstellen, und am seltensten wird dies dann eintreffen, wenn auch die so einfache Vorschrift gleicher erregender Oberflächen in dem Mafs aufser Augen gesetzt wird, dafs bald Drähte, bald Bleche nach Willkür angewandt werden. Gleichwohl ist es in VALENTIN's Ergebnifs annäherungsweise der Fall gewesen, nur dafs sich der übersilberte Kupferdraht statt zwischen Platin und Messing, an die Spitze der Reihe, noch über dem Zinkblech, gestellt hat. Unstreitig, weil auf der einen Seite Kupfer, auf der anderen Silber berührt haben wird.

In diese Falle ist VALENTIN gegangen. Er sagt zuletzt: »Für die »Anwendung fester Metalle fand ich es am Zweckmäfsigsten, Kupfer»drähte oder besser Zinkbleche von gleicher Länge auf der chemischen »Wage genau zu tariren und dann bis auf gleiche in das Quecksilber»amalgam zu tauchende Spitzen sorgfältig zu überfirnissen. Vor jedem »Versuch mufs man an destillirtem Wasser prüfen, ob auch beide »Drähte vollkommen gleich gehen oder nicht.« (S. 284.)

Indessen befriedigt ihn einestheils die Stärke der Wirkungen nicht, die er auf diese Weise erhält, anderntheils findet er, dafs »selbst bei »Beachtung dieser Vorsichtsmafsregeln bei festen metallischen Leitern »überhaupt die Resultate so schwankend werden, dafs durchaus nicht »darauf zu gehen ist.« (S. 286.) »Operirt man mit festen Metallen »als Leitern, so erhält man ... fast immer, selbst bei einem und demsel»ben Thiere, keine constanten Richtungen der Abweichung, wenn man »selbst beide Drähte oder Platten gleichzeitig an zwei verschiedene be»feuchtete Hautstellen oder gleichartige innere Theile applicirt.« (S. 284.) [1]

[1] Folgenden Versuch VALENTIN's, feste Metalle zu seinen Zwecken brauchbar zu machen, welcher keines Auszuges fähig und auch, wie man sagt, unter der Kritik ist, will ich vollständig hieher übertragen: »Der bekannte von HENRY beob»achtete Umstand, dafs ein einfaches Zink-Kupferplattenpaar, wenn es durch einen

Worin diese Uebelstände fester metallischer Leiter bestanden haben mögen, wird unten noch vermuthungsweise zur Sprache kommen. Valentin schreibt ihnen zum Theil Matteucci's Entschluſs zu, statt die Multiplicatorenden unmittelbar an die thierischen Gebilde anzulegen, sie durch eine Schicht Salzwasser davon getrennt zu halten (S. 286). Er selbst nahm dagegen seine Zuflucht zum Quecksilber.

Er hatte nämlich, beim versuchsweisen »Appliciren« der thierischen Theile unmittelbar an die Quecksilbernäpfe der oben S. 135 in der Anmerkung beschriebenen Kupferbügel, mächtige Ausschläge erfolgen sehen. Mit seltener Unbefangenheit wird hinzugefügt, daſs dabei sogleich Verschiedenheiten entstanden seien, je nachdem nur das Quecksilber, oder dieses und das Kupfer berührt wurden (S. 283). Diesem Uebelstande zu begegnen und auch um der Quecksilberfläche bequemer beikommen zu können, brachte er erst zwei gröſsere Glasgefäſse voll Quecksilber durch Platindrähte oder -Bleche mit den Näpfen der Kupferbügel in Verbindung; Platin nämlich abermals, weil er keinen Begriff vom Gesetze der Spannungsreihe hat. Allein seine eben so groſse Unkenntniſs des Ohm'schen Gesetzes läſst ihn nun wieder befürchten, es möchte »durch die geringere Leitung [1] und Masse des Platins ein Theil »der starken Wirkung verloren gehen.« So gelangt er zu folgender Vorrichtung, welche mit dem Namen »der gröſseren Quecksilbernäpfe« belegt wird: »In zwei runde, 1½ Zoll im Durchmesser haltende Papp»kästchen werden Löcher so gebohrt, daſs die kleineren Quecksilber»näpfchen genau hindurchgehen und daſs das Pappkästchen, mit

»eingeflochtenen Kupferdraht verbunden ist, gröſsere physiologische Wirkungen hat »und daher leichter Muskelzuckungen erzeugt, als bei einer Verbindung durch einen »einfachen Kupferdraht (?), führte mich auf die Idee, solche eingeflochtene Kupfer»drähte als Leiter zu versuchen. Ist ihre Oberfläche und ihr Gewicht genau das »Gleiche, so leisten sie durchaus nichts mehr als einfache Drähte, obwohl die von »mir angewandten Leiter der Art aus 22 Kupferdrähten von beinahe 2 Fuſs Länge »bestanden. Sind sie an Volumen oder Oberfläche (Drehung) unter einander ungleich, »so sind sie, wie andere ungleiche Leitungen, nicht zu gebrauchen..... Löthet »man an ihren 4 Enden 4, zu je zwei gleich groſse und gleich schwere Kupfer»massen, so verlieren sie noch von ihrer Wirkung, selbst wenn man, geleitet »durch die Gesetze der Reibungselektricität, die mit dem thieri»schen Körper in Berührung kommenden Kupferstücke breit schlägt »und mit einer Reihe von Zähnen versieht.« (S. 284.)

[1] Valentin spricht von der geringeren Leitungsfähigkeit des Platins im Verhältniſs zum Quecksilber. (Ebendas.) Bei 100 = dem Leitungsvermögen des Kupfers fand aber Becquerel für das Platin 16.40, für das Quecksilber nur 3.45 (Annales de Chimie et de Physique. t. XXXII. p. 428 *); Pouillet für das erstere sogar 22.0, für das letztere nur 2.6 (Éléments de Physique. 3. Édition. Paris 1837. t. I. p. 586 *).

»Quecksilber gefüllt, nichts hindurch lasse, anderseits jedoch das Kupfer »des kleineren Quecksilbernäpfchens rings umgebe. Man hat so Raum »genug, um die thierischen Theile von der Berührung mit dem Kupfer »frei zu erhalten, und erzeugt sogar eine noch gröfsere Verstärkung.« (Ebendas.)

Dies ist nunmehr die Vorrichtung, mit deren Hülfe VALENTIN an die Erforschung der »contactchemischen« Wirkungen der Froschhaut geht. Die Versuche wurden im Allgemeinen so angestellt, dafs das, »um die Ausschläge gröfser zu machen, mit destillirtem Wasser mit»telst der Sprützflasche durchfeuchtete«, auf verschiedene Weise vorgerichtete Thier mit verschiedenen Punkten seines Körpers in das Quecksilber getaucht wurde. »Sollen die Experimente .... exact aus»fallen, so mufs man nach jedem Versuche die Oberfläche des Queck»silbers von Wasser und anderen fremden Theilen reinigen. Das Erstere »geschieht mittelst eines Stückchens Löschpapier, das Letztere am »Besten mit dem Finger.« (Ebendas.) Verzeichnet wurden dabei die Ausschläge der Nadel, was jedoch dem Leser aus dem Umstande zu entnehmen überlassen bleibt, dafs in den mitgetheilten Zahlentabellen häufig Winkel über 90° aufgeführt sind (S. 283. 288. 290). In einigen Fällen mufste VALENTIN übrigens dennoch »zu festen Metallleitern recur»riren«, weil, »so viele Vortheile auch der Quecksilberapparat mit »den gröfseren Näpfen gewährt, er doch den Nachtheil hat, dafs er »bei vielen, besonders kleineren und nahe liegenden Hautflächen nicht »gebraucht werden kann.« In diesen Fällen war es, wo die oben S. 139 beschriebenen gebogenen, tarirten, mit Eiweifs bestrichenen und abermals tarirten Zinkbleche oder ähnlich behandelte übersilberte Kupferdrähte zur Anwendung kamen (S. 291).

Dafs die Vorrichtung mit den Quecksilbernäpfen VALENTIN trotz der höheren Negativität des Metalls gröfsere und auch ihrer Gröfse nach beständigere Wirkungen gab, als die Kupferdrähte und Zinkbleche, deren er sich sonst zu bedienen pflegte, ist nicht schwer zu begreifen. Das erstere mufste der Fall sein, weil die benetzte Oberfläche des flüssigen Metalls die der festen Leiter unstreitig um vieles übertraf; das letztere deshalb, weil bei diesen, wo durch die Starrheit des Metalls kein Wechsel der an der Oberfläche gelegenen Theilchen verstattet ist, das öftere Schliefsen wenigstens einen Theil der ausgleichenden Wirkung äufsern konnte, die das fortgesetzte zur Kette Geschlossenhalten mit sich bringt, während bei dem Quecksilber, wo die leiseste Wallung hinreicht, in jedem Augenblick die Oberfläche zu erneuern, an eine auch nur annähernde Gleichartigkeit derselben in den gebührenden Grenzen nie gedacht werden kann: um so weniger, als,

selbst bei angenommener vollkommener Gleichzeitigkeit der ersten Benetzung an beiden Punkten, wegen des Schwankens der Kuppe sowohl als der inneren Bewegung der Flüssigkeit die Erfüllung auch dieser wichtigen Bedingung hier stets nur illusorisch bleiben würde. Dies sind die bereits oben S. 81 angedeuteten Gründe, weswegen die vorsichtigen Beobachter, welche in den ersten Zeiten des Galvanismus sich des Quecksilbers bedienen zu dürfen glaubten, um allen von Volta gestellten Anforderungen an Gleichartigkeit zu genügen, ihm schwerlich noch jetzt den Vorzug schenken würden. Valentin hatte aber auf diese Weise die Genugthuung, ohne Unterlafs ungeheure Ausschläge verzeichnen zu können, deren Werth in unseren Augen noch zu erhöhen die Umstände gewifs sehr geeignet scheinen, dafs er das Quecksilber mit Löschpapier von Feuchtigkeit, mit sauer reagirendem Finger von anderen fremden Theilen reinigte, und dafs er den Frosch, »um »die Ausschläge gröfser zu machen, mit destillirtem Wasser mittelst »der Sprützflasche durchfeuchtete;« wodurch also alle etwaigen an der Haut desselben befindlichen Ungleichartigkeiten, welche ja eben beobachtet werden sollten, auf das Sorgsamste fortgespült wurden. Hiernach bliebe nur noch zu erklären, wie es komme, dafs Valentin dem »Quecksilberapparat mit den gröfseren Näpfen, wegen der durch die »Flüssigkeit des Metalls gebildeten Vortheile, bei einem und demselben »Frosche wenigstens in der überwiegenden Majorität der Fälle con»stantere Resultate« auch in Betreff der Richtung der Wirkungen nachzurühmen habe (S. 284).

Sicher wird man mir Dank wissen, wenn ich mich weder mit der Lösung dieses Räthsels befasse, noch auch dem Leser das Einzelne von Valentin's »constanteren Resultaten« vor Augen führe, welche sich, wie man nicht vergessen darf, auf einen Gegenstand beziehen, der, an und für sich von keinerlei Interesse, mit dem unsrigen bis jetzt in keiner anderen Verbindung steht, als dafs dieser Forscher sie miteinander verwechselt hat. Das Allgemeine seiner Ergebnisse schildert er selbst, trostlos genug, folgendermafsen: »Alle, in die Hunderte ge»henden Versuche, welche ich anstellte, laufen auf das Resultat hin»aus, dafs die thierischen Theile, wenn sie als Erreger der Contact»elektricität wirken, diese Kraft in so geringem Mafse haben, dafs »alle, selbst die scheinbar kleinsten äufseren Momente, ihre Wirkung »stören oder aufheben. Hierin liegt offenbar das ganze Räthsel der »so unendlichen Schwankungen, welche in Betreff der Gröfse und der »Richtung der Abweichungen wahrgenommen werden. In gröfserem »Mafse als von heterogenen thierischen Theilen gilt das Gesagte von »heterogenen Hautstellen. Keine der Angaben, dafs bei einem Frosche

»oder bei einem Säugethiere eine bestimmte Strömungsrichtung von den »Füfsen nach dem Kopfe vorhanden sei (Matteucci), dafs solche Strö»mungen nach dem Tode in entgegengesetzte Directionen umschlagen »(Puccinotti und Pacinotti) [1] u. dgl. konnte ich irgend wie bestätigt »finden.« (S. 284.) Dagegen glaubt Valentin, vornehmlich mit den Zinkblechen und Kupferdrähten, in Betreff der Gröfse und des Daseins überhaupt der contactelektrischen »Strömungsintensitäten oder Strö»mungsspannungen« (S. 297) an der Haut des Frosches zu einiger Gesetzmäfsigkeit gelangt zu sein (S. 291. 292. 293). Folgendes ist ein Beispiel der Art und Weise, wie er eine Reihe zerstreuter Erfahrungen, der strengen Methoden der mathematischen Physik stets eingedenk, sogleich an Mafs und Zahl zu knüpfen sucht. »Unter sonst gleichen »Verhältnissen ist der Ausschlag um so geringer, je kleiner die Haut»stelle ist, in welcher die beiden Pole der metallischen Leiter von ein»ander abstehen. In welchem Verhältnifs und ob überhaupt in gleichen »entsprechenden Zahlen die Abweichungen wachsen, gelang mir nicht »zu ermitteln. So viel scheint aber aus den angestellten Versuchs»weisen zu erhellen, dafs die Abweichung weder in gleichem Verhält»nisse, noch in dem Verhältnisse der Quadratzahlen der Distanzen zu»nimmt.« (S. 291. 292.) Es ist wahrlich schade, dafs nicht zufällig die Gröfsen der Ausschläge im Quadrate der Abstände der Berührungsstellen zugenommen haben. Unbekümmert um den geringfügigen Umstand, dafs die Stromstärken keinesweges den Ausschlägen proportional wachsen, würde Valentin die Physiologie abermals mit einem Gesetze von der Art derjenigen bereichert haben, deren Nichtigkeit C. Ludwig vor Kurzem an den Tag gezogen hat. [2]

[1] S. unten, 3. Abschn., Kap. VI. §. II. III.

[2] »Einige Bemerkungen zu Valentin's Lehren vom Athmen und vom Blut»kreislauf« in Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin. 1844. Bd. III. S. 142.« — Hervorgehoben zu werden verdient noch folgende Auseinandersetzung Valentin's, welche ich jedoch, ihrer gänzlichen Unverständlichkeit halber, abermals vollständig mittheilen mufs. Sie betrifft die »durch Application der Mus»kel- und Sehnentheile, sowie der Gelenkflächen zu erzielenden Abänderungen der »Declination.« Die Frösche wurden durch Opiumtinctur vergiftet, dann nacheinander unversehrt, zur Hälfte enthäutet, gänzlich enthäutet, an den »unteren Unterschenkelgelenken« exarticulirt, an den Kniegelenken exarticulirt, in der Mitte der Oberschenkel amputirt, endlich in den Hüftgelenken exarticulirt in das Quecksilber der gröfseren Näpfe getaucht. Diesen verschiedenen Anordnungen entsprechen verschiedene Richtungen und Gröfsen der Ausschläge. Valentin sagt nun: »Diese Abände»rungen der Declination können zunächst dahin gedeutet werden, dafs sie durch »veränderte chemische Wirkung entstehen. Allein offenbar kommt auch das sta»tische Moment ins Spiel..... Ich fand .... gröfsere Frösche...., wo Ein»tauchen der Mundspitze und der Fufszehen centrifugale, Eintauchen der Vorzehen und

Es dürfte übrigens schwer halten, eine zusammenhängende Uebersicht der Erfahrungen Valentin's mitzutheilen. Die Zahlentabellen nämlich, welche in die Darstellung derselben eingeflochten sind (S. 282. 285. 287. 288. 289. 290. 291), bieten die unschätzbare Eigenthümlichkeit dar, dafs man über die Richtung der aufgeführten Ausschläge mit wenigen Ausnahmen, wo erläuternde Bemerkungen im Texte das Verständnifs möglich machen, völlig im Dunkel bleibt. Valentin sagt nur: »Bei allen diesen ... Versuchen wurde ... derjenige Theil, welcher zuerst »genannt wird, an den Pol des aufsteigenden, der andere an den des »absteigenden Kupferdrahtes des Galvanometers applicirt« (S. 283. 284. 289); und aufserdem findet man die einzelnen Winkelwerthe mit Plus- und Minuszeichen behaftet. Ich bekenne unverhohlen, dafs mir diese Bezeichnungsweise durchaus keine bestimmte Vorstellung erweckt hat, da mir einestheils Multiplicatoren mit auf- und absteigenden Drähten unbekannt geblieben sind, anderntheils kein natürlicher Zusammenhang zwischen diesen Richtungen im Raume und den algebraïschen Zeichen stattzufinden scheint.

---

Der Leser hat nunmehr ein Bild von dem Theil von Valentin's Arbeiten, die er selbst an den Froschstrom knüpft. Aus dem bunten Durcheinander der angeführten Seitenzahlen in dieser kritischen Darstellung, deren Gang, wenn ich nicht irre, der natürliche und folgerichtige einer jeden Experimentaluntersuchung war, hat er entnehmen können, in wie weit der rathlosen Verwirrung des Inhalts hier eine gleich grofse Verwilderung der äufseren Gestalt entsprechen mag. Er ist gleichzeitig in Stand gesetzt, den Werth der Verdächtigungen zu

»Fufszehen centripetale Declinationen erzeugte. Die letzteren Ausschläge waren »meist kleiner als die ersteren. Es läfst sich daher wohl denken, dafs es so con»stituirte Frösche gäbe, bei welchen vorzüglich Eintauchen der Vorderzehen und »der Fufszehen bei möglichst gleichen Eintauchungsflächen gar keine Declination der »Nadel hervorruft. Hierfür spricht schon der Umstand, dafs bei vielen Fröschen, »meist solchen, welche kleinere Ausschläge liefern, es Unterschiede der Declination »hervorruft, ob das Thier bei dem Eintauchen .... an seinem Rückgrathe mehr oder »minder gebogen ist. Schneiden wir nun aber bei enthäuteten Fröschen gleiche »Stücke von beiden hinteren Extremitäten ab, so ändern wir sowohl das chemische »als das statische Moment.« (S. 289. 290. 300.) Ob Valentin damals schon die Begriffsbestimmung des statischen Momentes vorschwebte, wie er sie selbst kurze Zeit darauf in seinem Lehrbuch der Physiologie u. s. w. Bd. II. 1844. S. 138. §. 784.* mittheilt, es sei darunter »das Product der Kraftgröfse und der Länge des ent»sprechenden Hebelarmes« zu verstehen?

ermessen, die VALENTIN an verschiedenen Stellen seiner anderen Schriften zu wiederholten Malen gegen jede tiefere Bedeutung der Erscheinung des Frosch- und Muskelstromes auszustreuen bemüht ist.[1] Ich kann jedoch nicht umhin, diesem Physiologen noch ferner in einige Punkte seiner Abhandlung zu folgen, theils, weil dieselben sich gleichfalls noch an MATTEUCCI's Untersuchungen über den Froschstrom anschliefsen, von dem sie VALENTIN nur durch Mifsverstand getrennt hat; theils, um der Berücksichtigung dieser Leistungen für die Folge mit einem Schlage enthoben zu sein; theils endlich, um den im Beginn dieses Kapitels ausgesprochenen Zweck noch vollständiger zu erreichen.

Von seinen contactelektrischen Strömungen bei Berührung ungleichartiger Körpertheile mit gleichartigen Metallbögen bahnt sich VALENTIN auf nicht weiter gerechtfertigtem Umwege durch die Beobachtungen freier Spannungselektricität an isolirten Menschen im gesunden und kranken Zustande (S. 293. 294. Vergl. oben S. 15 Anm.) einen Uebergang zu den contactelektrischen Erscheinungen thierischer Gewebe unter sich (S. 294. 295). Diese unterscheiden sich von denjenigen, welche bisher Gegenstand der Betrachtung waren, nämlich darin, dafs statt des verwickelteren Complexes mehrerer Gewebe, welchen ein mehr oder weniger unversehrter thierischer Körper darbietet, jetzt nur noch zwei dergleichen Gebilde unter sich und mit den angeblich gleichartigen Multiplicatorenden in Berührung gebracht werden; eigentlich aber nur insofern, als in VALENTIN's Vorstellung der elektromotorische Vorgang jetzt nicht mehr, wie früher, an die Grenze der feuchten und der metallischen Leiter, sondern an die der ersteren unter sich allein nach Willkür verlegt ist (S. oben S. 131. 132).

VALENTIN gelangt hier zu dem merkwürdigen Ergebnifs, dafs die Spannungsreihe der Gewebe zugleich die Reihe ihrer Dichtigkeiten sei, so dafs das dichteste Gewebe, das der Knochen, das positive, die am

[1] Repertorium für Anatomie und Physiologie. Bern und St. Gallen. Jahrgang 1843. Bd. VIII. S. 80. 81 Anm.*: »Alle diese Erscheinungen sind natürlich rein »elektro-chemische und daher nur von untergeordnetem physiologischen Interesse.« — Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Für Aerzte und Studirende. Bd. II. Braunschweig 1844. S. 48 ff.* Die Zuckung ohne Metalle. S. 50 heifst es unter andern: »Taucht man den Hüftnerven in ein Glas mit Wasser, Unterschenkel und »Fufs dagegen in ein anderes mit gleicher Füllung und verbindet beide Gefäfse »durch einen befeuchteten Baumwollendocht, so ruft man bisweilen Krämpfe hervor »(NOBILI). Hier kann die Wirkung des Wassers auf die Baumwolle (!!) »oder auf die organischen Theile das nöthige Quantum von Elektricität frei machen »und in Circulation setzen.« — Ebendas., S. 586. 587.* Der Muskelstrom. »Alle »diese Thatsachen haben daher ein mehr physikalisches Interesse und sind nicht im »Stande, Einfluſs auf die Physiologie des Nervensystemes zu gewinnen.«

wenigsten dichten, das subcutane Zellgewebe, das Fett und die Nerven, das negative Ende jener Reihe einnehmen.[1] »Um .... für den »Menschen so sichere Data, als möglich, zu gewinnen, experimentirte »ich nicht an einer Leiche, sondern an einem eine Stunde vorher »wegen Caries ossium tarsi amputirten Unterschenkel eines sonst wohl»gebaueten 15jährigen Knaben.« Auch wenn noch so hoch im Gesunden amputirt worden war, hätte Valentin doch besser gethan, wenn er sich an frisch getödtete Säugethiere gehalten und dafür lieber diese schwierigsten aller thierisch-elektrischen Versuche hier öfter als einmal wiederholt hätte. Schwerlich würde ihm sein Verfahren gestattet haben, die Wahrheit zu finden, welche nämlich, wie die Folge lehren wird, und wie es eine einfache Betrachtung auch von vorn herein einsichtlich macht, darin besteht, dafs die verschiedenen Gewebe sich unter sich völlig gleichartig verhalten;[2] allein er möchte vielleicht auf Unregelmäfsigkeiten gestofsen sein, die ihm Zweifel an der Richtigkeit eines Gesetzes erweckt haben würden, das nie irgendwo anders gegolten hat, als in seiner Einbildung. Sein Verfahren schildert er, mit gewohnter Zuversicht, folgendermafsen: »Die einzige sichere Methode, die feinen »contactelektrischen Verhältnisse der festen thierischen Theile zu be»stimmen, besteht darin, dafs man dieselben auf einer chemischen »Wage genau tarirt, und mit möglichst gleichen Oberflächen auf die »Oberflächen des Quecksilbers des Apparates mit den gröfseren Näpfen »legt. Die Ränder derselben ragen nach innen über das Quecksilber »hinaus und werden so eingerichtet, dafs sie möglichst gleiche Flächen »einander zukehren. Ist dieses der Fall, so bringt man sie durch Ver»schiebung der Kupferbügel des Galvanometers in gegenseitige Berüh»rung.« (S. oben S. 135 Anm.) Dafs die Versuche an der Vorrichtung mit den gröfseren Näpfen angestellt sind, reicht für uns hin, ihren Werth zu bestimmen. Unerwartet ist aber gewifs die Vorschrift, die Gewebtheile so einzurichten, dafs sie einander möglichst gleiche Flächen zukehren. Also können sich, in Valentin's Anschauung, zwei Körper mit verschieden grofsen Berührungsflächen berühren!

Von seinem vermeintlichen Gesetze der Spannungsreihe der Gewebe macht Valentin alsbald folgende Anwendung: »Die dichtesten Körper »dürften auch dann die positive Bahn eines von Aufsen her eintreten»den Elektricitätsstromes leiten. Ist dieses richtig, so erklärt sich »hieraus die bekannte Erfahrung, dafs bei Leuten, welche vom Blitze »getroffen, nicht aber dadurch getödtet worden sind, die Brandblasen

[1] Vergl. Valentin's Lehrbuch der Physiologie u. s. w. Bd. I. S. 165.

[2] S. unten, 3. Abschn., Kap. I. §. VII. — Kap. VI. §. I.

»längs der Mitte des Rückens, längs der Dornfortsätze oder der Wir»bel überhaupt hinabgehen und am Schienbein und anderen grofsen »Knochen wieder kehren. Meist erscheint hier die Verbrennung nur in »der Haut. Allein die in der Nähe liegenden Knochenmassen dürften »an ihr die Bahn bestimmen und so für die übrigen Gewebe des Kör»pers gleichsam als Blitzableiter wirken.« (Ebendas.) Sollte es nöthig sein, zu erinnern, dafs, selbst wenn die Thatsache richtig wäre, was mehr als zweifelhaft ist; [1] selbst wenn VALENTIN's Gesetz in Wirklichkeit stattfände, was zuverlässig nicht der Fall ist: diese Folgerung aus demselben noch völlig grundlos erscheinen würde, da ein Strom in einem z. B. aus Silber und Zink zusammengeflochtenen Leitungsdrahte sich bekanntlich nicht das positivere Zink zur Bahn aussucht, sondern sich über den ganzen Querschnitt der Leitung im umgekehrten Verhältnifs der Widerstände auf jedem Punkte vertheilt.

Hiermit verläfst VALENTIN das Gebiet der »contactelektrischen Strömungen«, verweist die thermoëlektrischen, deren Begriffsbestimmung wir bereits oben S. 133 mitgetheilt haben, mit Recht in das der thierischen Wärme, und wendet sich den »vital-elektrischen Strömen« zu, »bei deren »Aufsuchung man«, wie er sagt, »mehr von dunklen Ahnungen, als »durch sichere Principien geleitet, beide Methoden« (die der contact- und die der thermoëlektrischen Ströme) »mit mannigfachen Modificatio»nen in Anwendung zu bringen sucht.« (S. 282. 295. 296.) Er unterscheidet die Möglichkeit: a) organoëlektrischer, b) neuroëlektrischer Strömungen, welche letztere in $\alpha$) Neuromuscular- und $\beta$) reine neuroelektrische Strömungen zerfallen. Unter organoëlektrischen versteht er solche, die im lebenden Körper aus irgend einer Ursache, allein unabhängig von den Lebensvorgängen in Nerv und Muskel, stattfinden können; unter Neuromuscularströmungen solche, welche durch die Muskeln im Augenblick der Zusammenziehung bewirkt würden; reine neuroelektrische endlich würden ihm durch die Nerven allein im Augenblick des Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorganges erzeugte Strömungen sein (S. 297. 299. 304). Leider ist der Inhalt dieses Systems für ihn vorläufig noch eine reine Negation.

Von den zahlreichen, hier auf 13 Seiten mitgetheilten Versuchen und Erörterungen gehen uns zunächst nur folgende, an MATTEUCCI's Erfahrungen anknüpfende Punkte an.

[1] Der fleifsige Sammler REIMARUS z. B. thut ihrer mit keiner Sylbe Erwähnung. Vom Blitze. Hamburg 1778. 1. Teil. Kap. VI. Anlockung und Würkung (des Blitzes) auf Menschen. §. 62 ff. S. 141 ff. — Vergl. PFAFF, Artikel »Blitz« in GEHLER's physikalischem Wörterbuche. Bd. I. 2. Abth. Leipzig 1825. S. 1015.

1. Unter *α. δδ.* heifst es: »Matteucci (*Essai etc.* p. 75—85) »erzielt mittelst seines oben erwähnten Apparats mit den vier Salz»gefäfsen während der Muskelcontraction Abweichungen der Nadel des »Galvanometers« (S. 300), und auf Grund dieses vermeintlichen Erfolgs läfst sich Valentin in eine Versuchsreihe ein, welche zum Zweck hat, ihn gleichfalls zu beobachten, jedoch, wie man sich leicht denken kann, um so mehr, als er Matteucci's Vorrichtung alsbald für den »Apparat mit den gröfseren Quecksilbernäpfen« verläfst, nur zu zweideutigen und verneinenden Ergebnissen führt. Jene Behauptung ist, wie man sich erinnern wird, Matteucci ebenso fremd wie die Vorstellung von dem »contactelektrischen« Ursprung des Froschstromes. Wahrscheinlich hat sich Valentin, beim flüchtigen Lesen, durch folgende Ausdrucksweisen dieses Physikers irre leiten lassen: ».... les »contractions et les signes du galvanomètre ont également lieu.« (*Essai etc.* p. 76.) ».... Les muscles de la cuisse peuvent aussi produire »des contractions et des courants très-sensibles au galvanomètre.« (Ibid.) ».... Les contractions et les déviations du galvanomètre ap»paraissent tout de suite.« (Ibid., p. 77.) ».... Nous n'avons plus »de contractions, ni de signes au galvanomètre.« (Ibid., p. 82)...., welche in der That nichts Anderes bedeuten, als dafs ein Frosch, unter den in Rede stehenden Umständen, die Galvani'sche Zuckung ohne Metalle sowohl als die Nobili'sche Multiplicatorablenkung hervorzubringen im Stande gewesen sei oder nicht.

2. Matteucci's Versuch, in dem er durch den Froschstrom, ohne Einschaltung eines metallischen Leiters, Jodkaliumelektrolyse bewirkt haben will, der jedoch in seinen späteren Mittheilungen nicht wiedergekehrt ist (S. oben S. 124), hat Valentin mit Erfolg wiederholt. Nur dafs die »äufserst schwache braungelbliche Teinte« an der Stelle des benetzten Papierstreifens, wo der Nerv auflag, nicht an diesem selbst erschien. (S. 304. *α. xx.*) Auch hier sieht Valentin irrthümlicher Weise die Ursache der Wirkung statt in dem stetig vorhandenen Froschstrom, vielmehr in den Zuckungen, welche beim öfteren Zurückbiegen des Nerven gegen den mit dem empfindlichen Papier bekleideten Schenkel entstehen; allein er ist insofern leichter zu entschuldigen, als man in der That nicht begreift, was sich Matteucci bei der Vorschrift gedacht hat, den Strom in dieser Weise nur in einzelnen Stöfsen auf das zersetzbare Salz einwirken zu lassen, da die Elektrolyse bekanntlich nicht, gleich der physiologischen oder der inducirenden Wirkung, dieses Umstandes zu ihrem Hervortreten bedarf. (S. unten, 2. Abschn. Kap. III.)

3. Mit Hinblick auf Matteucci's Angabe, dafs der Froschstrom

im Tetanus fehle, versucht VALENTIN diesen Erfolg am »Quecksilber-»apparat mit den gröfseren Näpfen« für seine »contactelektrischen« Strömungen an der Haut des Frosches zu bestätigen. Es glückt ihm, wer kann wissen durch welche Zufälligkeit, in der That, während des Tetanus nach Strychninvergiftung geringere Ausschläge als sonst zu beobachten (S. 301. *α. ββ.*) und »so dürfte«, sagt er, »hier wenigstens »Ein Factum entgegentreten, wo durch Neuromuskulaturverhältnisse »Veränderungen der Contactelektricitätsströmungen eintreten.« (S. 307.) Das Widersinnige der Zumuthung, dafs im Augenblick der Zusammenziehung die Ungleichartigkeiten sich verändern sollen, die er als Ursache jener Strömungen an den verschiedenen Hautstellen voraussetzt, beunruhigt ihn nicht. Man sieht aber, dafs es sich, von diesem Gesichtspunkte aus, nicht mehr als Widerspruch rügen läfst, dafs er trotz der beim Tetanus beobachteten Abnahme der Wirkungen des Gesammtfrosches an einzelnen Muskeln und Nerven während der Zusammenziehung nach »neuromuskularen Strömungen« spürt. Schon glaubte er ferner »bei 144 Galvanometer-Bestimmungen das Gesetz constant gefun-»den zu haben, dafs Frösche, bei welchen vorher die constanten con-»tactelektrischen Verhältnisse bestimmt und die dann mit Strychnin ver-»giftet worden waren, ihre Strömungsrichtung entweder bei unverletzter »Haut, oder nach dem Abziehen derselben umkehrten.« Allein fortgesetzte Versuche machten ihn wieder an der allgemeinen Gültigkeit dieses Gesetzes zweifeln, »da sich einerseits bei anderen Fröschen die »Umkehrung nicht zeigte, anderseits .... das blofse Abziehen der Haut »die Polaritäten umändert.....« Und nun fährt er fort: »In seinen »contactelektrischen Verhältnissen ist das Strychnin im Verhältnifs zu »destillirtem Wasser, zu Muskeln, und vielleicht den Nerven elektro-»positiv, im Verhältnifs zu concentrirter Kochsalzlösung negativ. Hätte »es aber auch, was sich jedoch nicht beweisen läfst, eine eminent-»elektropositive Eigenschaft, so würde dieses zwar das Erschei-»nen der centrifugalen Nervenströmungen und der Krämp-»fe gewissermafsen erklären, bewiese aber Nichts für die vor-»liegende Frage, da dann durch den Contact des Strychnins mit den »weichen thierischen Theilen ein elektropositiver centrifugaler Strom »entstände.« Von alle dem verstehe ich nur so viel, als dafs VALENTIN uns glauben machen möchte, ihm sei, durch seine Anstrengungen auf dem Felde der Contactelektricität, ein mehr oder minder deutlicher Blick über die Art und Weise aufgegangen, wie das Strychnin seine räthselhaften Wirkungen zu Wege bringt. Es ist zu fürchten, dafs sich nicht Viele mit ihm dieses Erfolges freuen werden. Ich hoffe vielmehr, dafs sich Wenige eines Gefühls innerer Entrüstung werden erwehren können,

als Zeugen des heillosen Spiels, welches hier mit den tiefsten Fragen der Wissenschaft ohne Rückhalt getrieben ist.

Es bleibt uns übrig, einen Blick auf diejenigen Forschungen Valentin's im Gebiete der »vital-elektrischen« Strömungen zu werfen, welche unabhängig von Matteucci's Arbeiten angestellt sind. Er fällt eben auf kein erfreuliches Schauspiel. Man sieht Valentin beschäftigt, Nerven und Muskeln, Multiplicatoren und Elektrometer, Säulen, Magnete und Elektromagnete, Inductionsrollen, Quecksilbernäpfe, Bleche und Drähte aller Art mit bewundernswerther Ausdauer auf verschiedene Weise angeordnet im Versuch zusammenwirken zu lassen, immer und immer ohne Ergebnifs, häufig aber auch, ohne dafs es möglich wäre, zu errathen, was er sich eigentlich dabei vorgestellt hat.

Wo es ihm beliebt, seinen Gedankengang mitzutheilen, da stöfst man auf Grundsätze wie folgender: »Bekanntlich verläuft der durch »eine elektrische Strömung erregte magnetische Strom nicht in gleicher »Ebene mit jener, sondern in einer Direction, welche auf der erstern »senkrecht steht. Nun haben wir oben bewiesen, dafs auf die ganz »gleiche Weise die während der Entladung stattfindende elektrische »Strömung der Zitterfische auf der Strömungsebene des Nervenfluidums »senkrecht ist.[1] Man könnte sich daher denken, dafs, indem die »Strömung des Nervenfluidums elektrische Spannungsströmungen er»zeugte, etwas Aehnliches stattfinde. Die beiden Drahtspitzen müfsten »daher mit ihrer kürzesten Distanz die longitudinale Richtung der Pri»mitivfasern senkrecht schneiden, wenn Effecte am Galvanometer wahr»genommen werden sollen.« (S. 305. Vergl. S. 272. 308.) Die Versuche, mit welchen Valentin von diesem Gesichtspunkt aus die Natur in Betreff seiner »reinen neuroelektrischen Strömungen« bestürmt, erspare ich der Geduld des Lesers. Diesem ist aber hier der Vortheil erwachsen, zu erfahren, dafs es »bekanntlich« einen dem Schlag der Zitterfische zu vergleichenden magnetischen Strom giebt, der mit seiner »Direction« die »Direction« des erregenden elektrischen Stromes senkrecht schneidet. In den physikalischen Lehr- und Jahrbüchern hätte derselbe sich umsonst danach umsehen müssen. Dafs Valentin manches Nützliche nicht weifs, was in diesen Büchern steht, das sucht er gleichsam dadurch wieder gut zu machen, dafs er schlechthin Dinge erfindet, von denen sich die Schulweisheit denn freilich auch nichts träumen läfst.

[1] Mit Freuden hebe ich hervor, dafs Valentin, trotz seiner Verirrungen auf diesem Gebiete und jenes falschen Vergleiches, das Verdienst zukommt, zuerst bemerklich gemacht zu haben, dafs bei Torpedo und Gymnotus der Schlag in gleicher Weise senkrecht auf die letzten Ausbreitungen der elektromotorischen Nerven geschieht. S. unten, 3. Abschn., Kap. X. §. 1.

Hat man somit hier bereits eine Begriffsverwirrung ohne Gleichen zu beklagen: so fehlt es an Worten, um ein Verfahren, wie das jetzt vorzuführende, nach Würden zu bezeichnen. Man liest S. 299: »*α.* Neuro»muskulärströmungen (S. oben S. 151). *αα.* Die einfachste Art, »um diese, wenn sie existirten, zu finden, müfste die sein, dafs man »einen reizbaren Muskel durch zwei Metalldrähte oder auf andere Weise »mit dem Galvanometer in schliefsende Verbindung bringt, hierauf, bis »die Magnetnadel nicht mehr schwankt, abwartet und dann mittelst »Glaspincetten den motorischen Nerven reizt. Am geeignetsten ist hierzu »der Musculus gastrocnemius nach Galvani's Methode präparirter Frosch»schenkel. Allein erzielt man hier nie wahre und constante Abwei»chungen, man mag den Muskel isoliren wie man wolle, man mag »die leitende Verbindung durch befeuchtetes Fliefspapier, zwei Platin»drähte, zwei Platinbleche, Kupferdrähte, Messingdrähte u. dergl. her»stellen. Dasselbe negative Resultat erhält man, wenn man die beiden, »z. B. aus Eisen und Kupfer zusammengelötheten Spitzen der zu thermo»elektrischen Versuchen bestimmten Drähte anwendet, oder einen Kupfer»draht mit seiner einfachen Mittelspitze einsticht, während seine Gabel»schenkel in die Näpfe des Galvanometers tauchen.« Und S. 306 unter *β.* Reine neuroelektrische Strömungen. *εε*: »Auch mit thermo»elektrischen, aus Kupfer und Eisen zusammengelötheten Drähten mit »endständigen Löthungsstellen angestellte Experimente, die ich sowohl »zur Prüfung von reinen neuroelektrischen, als von Neuromuskular»strömungen anwandte, fielen negativ aus. Eben so negative Ergeb»nisse resultirten, wenn man zwei übersilberte Kupferdrähte in ihrer »Hälfte zu Einem Drahte zusammenflocht, die beiden gabeligen Enden »in die Quecksilbernäpfe des Galvanometers tauchen liefs und das einfache »Ende in den Nerven steckte.« Was den vorletzten Versuch an beiden Stellen betrifft, so hätte sich Valentin, zur Wahrnehmung elektrischer Ströme in den Organen, mit eben so vielem Vortheil eines gemeinen Thermometers, was vollends den letzten anlangt, todter Knabenfinger, des Pentagramms und der Mistelstaude oder eines beliebigen anderen Spuks bedienen können, der ihm durch den Sinn gefahren wäre. In der That, der Verfasser gleicht hier nicht übel einem Adepten, der, um das jenseit seines Wissens und Könnens Gelegene heraufzubeschwören, innerlich selbst am Erfolg verzweifelnd, es doch nicht verschmäht, jede auch noch so abentheuerliche Zusammenstellung von Dingen, die ihm eine ungeregelte Einbildungskraft an die Hand giebt, in hastige Wirklichkeit zu versetzen.

Allein vergebens. Kein gefälliger Zufall erscheint, den Mangel an Methode gut zu machen. Dies entmuthigt ihn nicht. Er tröstet sich

vielmehr mittelst des alten psychologischen Kunstgriffs aus der Fabel, Trauben sauer zu schelten, weil sie nicht mundgerecht gewachsen sind. »Ich bin individuell überzeugt, dafs man früher oder später eine Me»thode finden wird, um durch die Neuralströme elektrische Ströme zu »erzeugen. Allein diese ganze Sache hat ein mehr theoreti»sches Interesse und besitzt überhaupt nicht mehr die »Wichtigkeit, welche man ihr beilegt, da wir jetzt schon »bestimmt wissen, dafs Nervenfluidum und Elektricität eben so wenig »identisch sind, als Elektricität und Magnetismus.« (S. 308). So ist, vor Valentin's innerem Auge, der Schleier von jeglichem Räthsel der Physik gezogen; über alle die grofsen Zweifel unseres Zeitalters: Contact oder Chemismus, Einerleiheit oder Nichteinerleiheit von Elektricität und Magnetismus, Nervenagens und Elektricität, ist er längst glücklich hinaus.

Doch genug. Ich schliefse, wenn gleich nicht aus Mangel an Stoff, woran es weder der zuletzt betrachtete Abschnitt der vorliegenden Arbeit, aus dem die mitgetheilten Proben keineswegs mit Fleifs ausgehoben sind, noch Valentin's sonstige Leistungen in diesem Gebiete fehlen lassen würden. Ich beklage vielmehr, das harte Urtheil, welches sich aus dem Vorhergehenden wider einen Theil dieser Leistungen ergiebt, auch über den Eingangs erwähnten Artikel »*Galvanismus*« desselben Verfassers und wenigstens den theoretischen Theil des ersten Abschnitts der hier besprochenen Abhandlung, der von den elektromotorischen Fischen handelt, ausdehnen zu müssen. Es ist hier nicht der Ort, diese Anklagen zu begründen; allein ich bin bereit, wenn ich dazu aufgefordert würde, meine Versicherung durch zahlreiche Beweise zu unterstützen.

## Zweiter Abschnitt.

# Methode.

# Zweiter Abschnitt.

## Methode.

*Von einigen durchgängig gebrauchten Vorrichtungen und der Art und Weise der Untersuchung im Allgemeinen.*

---

Ich halte es für zweckmäfsig, um die Darstellung der häufig etwas verwickelten Versuche selbst möglichst zu vereinfachen, den Leser erst im Allgemeinen in das Technische derselben einzuführen. Hier ist es vorzüglich, wo ich den Physiker bitten mufs, mir manche Einzelheit zu Gute zu halten, die ich anzudeuten nicht wohl unterlassen konnte, wenn ich dem Physiologen verständlich bleiben und ihn in Stand setzen wollte, meine Versuche zu wiederholen.

Die Zahl der stromprüfenden Mittel, die bei so schwachen Strömen, wie diejenigen, mit denen wir uns beschäftigen, noch anwendbar sind, beschränkt sich auf folgende drei: den Multiplicator, den Froschschenkel, und die Elektrolyse. Jedes dieser Mittel hat, wie seine eigenthümlichen Vorzüge, so auch seine Mängel; jedes verlangt bei seiner Handhabung Rücksichten, deren Zahl und Schwierigkeit mit der Schwäche der Wirkungen wächst, welche wahrgenommen werden sollen. Die Darlegung derselben bildet den Gegenstand der nächstfolgenden Kapitel.

---

# Erstes Kapitel.

## Vom Multiplicator bei thierisch-elektrischen Versuchen.

### §. I.

### Von den Eigenthümlichkeiten des Multiplicators als stromprüfenden Mittels überhaupt.

Man erinnert sich von früher her (S. oben S. 104), dafs Nobili seine Entdeckung der elektromagnetischen Wirkung des Froschstroms bei Gelegenheit eines Vergleichs zwischen der Empfindlichkeit des nach Galvani's Vorschrift zubereiteten Frosches und der seines Multiplicators mit Doppelnadel machte, und dafs dieser Wettstreit zu Gunsten des ersteren ausfiel. [1] Auch Matteucci erzählt einen Versuch, welcher auf den ersten Blick dies Ergebnifs zu bestätigen scheint. Er fand nämlich, dafs, wenn er an die Pole einer aus thierischen Elektromotoren angeordneten Säule 8 — 10$^{cm}$ lange Streifen feuchten Fliefspapiers anbrachte und zwischen ihren freien Enden bald mit dem Nerven eines Froschschenkels, bald mit dem Multiplicator schlofs, der Schenkel zuckte, die Nadel hingegen unbewegt blieb. [2] Allein in diesem Falle wurde die Stromstärke durch die Einschaltung des Multiplicators mit seinen leicht polarisirbaren Platinenden möglicherweise mehr geschwächt, als durch die des Nerven, dessen Widerstand den an sich ungeheuren der Kette nur um einen kleinen Bruchtheil vermehren konnte. Die erste Bedingung der Vergleichbarkeit beider Rheoskope, die der Prüfung nämlich bei einer und derselben Stromstärke, kann vielmehr stets nur dann mit Sicherheit als erfüllt betrachtet werden, wenn sie, wie in Nobili's Versuch, gleichzeitig in einen und denselben Kreis eingeschaltet sind.

Ich mufs bezweifeln, dafs, bei der Anzahl von Windungen und der Dünne des Drahts, mithin Annäherung der Windungen an die

[1] Vergl. noch Memorie ed osservazioni ec. vol. I. p. 215.*

[2] Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 305.* — Archives de l'Électricité. t. II. p. 423.* — Traité etc. p. 64.*

Nadeln, die man jetzt, durch die Ohm'schen Gesetze geleitet, bei unseren Multiplicatoren für hydroëlektrische Ströme in Anwendung bringt, dem Frosch jene Ueberlegenheit in der That noch zuerkannt werden mufs. Wenn ich den Kreis meines Multiplicators mit einem nach Galvani's Vorschrift zubereiteten Frosche schliefse, fliegt meistens die Nadel gegen die Hemmung; die Schenkel zucken hingegen, wie bekannt, in unseren Breiten nur in günstigen Fällen. Um wie viel gröfser auch die Reizbarkeit in südlicheren Ländern ausfallen möge, so ist doch nicht glaublich, dafs ein solcher Spielraum derselben stattfinde, dafs es daselbst Frösche gebe, die auch auf Ströme noch antworten, wodurch meine Nadeln nur um wenige Grade abgelenkt werden.

Die Elektrolyse, welche, um eine gegebene Gröfse der Wirkung hervorzubringen, eine mit der Schwäche des Stromes zunehmende Dauer derselben verlangt, ist begreiflich von jeder Mitbewerbung ausgeschlossen, so wie es sich um den Besitz eines stets bereiten, rasche und in die Augen fallende Angaben liefernden Rheoskops für sehr schwache Ströme handelt. Der Multiplicator ist demnach wohl das empfindlichste der stromprüfenden Mittel für Galvanismus und die ihm verwandten Bewegungsformen der Elektricität. Von dem Sinn dieser Einschränkung wird später, in dem zweiten und vierten Paragraphen des nächstfolgenden Kapitels, die Rede sein.

Mit dem Vorzuge der Empfindlichkeit verbindet der Multiplicator denjenigen, dafs er unmittelbare und unzweideutige Anzeige von der Richtung und innerhalb gewisser Grenzen eine, wenn auch nicht getreue, doch ungefähre Vorstellung von der relativen Gröfse der Wirkungen gewährt; zwei Eigenschaften, welche der Froschschenkel nur im allerbedingtesten Mafse besitzt. Er ist es also, dessen wir uns im Folgenden stets zur ersten Grundlegung aller Thatsachen zu bedienen haben werden.

Indessen hat dies Instrument auch seine Schwächen. In einigen Fällen, wo es auf Wahrnehmung schneller Veränderungen der Stromstärke ankommt, reicht die Beweglichkeit einer Magnetnadel nicht mehr aus, um dieselben anzugeben. Hier ist es, wo wir unsere Zuflucht zum physiologischen Rheoskope nehmen werden. (S. unten, Kap. II. §. IV.) Zweitens giebt der Multiplicator kein absolutes Mafs der Stromstärke ab. Man weifs, dafs dagegen das elektrochemische Verfahren diesen Vortheil zu gewähren vermag. Mit diesem theilt er drittens den Uebelstand, dafs seine Anwendung stets die Einschaltung von Metallen in die thierische Kette mit sich bringt, wodurch, wie wir zum Theil schon sahen, ein Heer von Schwierigkeiten geweckt wird. Die Art und Weise, dieselben zu überwinden, bildet grofsentheils den Gegen-

stand des dritten Paragraphen dieses Kapitels; zunächst werfen wir einen Blick auf das Instrument selbst, welches uns zu unseren Untersuchungen dienen soll.

---

## §. II.

## Bemerkungen in Betreff der Einrichtung, Aufstellung und Empfindlichkeit eines zu thierisch-elektrischen Versuchen bestimmten Multiplicators.

Es kann hier nicht meine Absicht sein, den Bau des Multiplicators, und die Grundsätze, auf denen seine Wirkung beruht, von Anfang an auseinanderzusetzen, worüber jedes Lehrbuch Auskunft zu ertheilen vermag. Ich bezwecke vielmehr nur, an Beschreibung und Mafs des Instrumentes, welches bei fast allen im Folgenden beschriebenen Versuchen angewandt wurde und dessen Gebrauch ich stets vorauszusetzen bitte, wo nicht ausdrücklich das Gegentheil bemerkt ist, einige feinere theoretische sowohl als praktische Bemerkungen anzuknüpfen, die denen vielleicht nicht unwillkommen sein werden, welche den Wunsch hegen sollten, sich mit der Wiederholung und Ausdehnung meiner Versuche zu beschäftigen.

Jener Multiplicator ist zum Theil von verschiedenen Arbeitern nach meinen Angaben, zum Theil von mir selbst verfertigt worden. Im Allgemeinen hat seine Einrichtung nichts Bemerkenswerthes; es ist die aller Instrumente der Art, die jetzt in Berlin von Kleiner, in Paris von Gourjon und Ruhmkorff gebaut werden.

### 1. Rahmen.

| | |
|---|---|
| Länge des Rahmens im Lichten oder des Spielraums für die untere Nadel | 64‴ |
| Breite im Lichten | 37 |
| Höhe der Querleisten oder des Spielraums für die untere Nadel | 4 |
| Länge der Seitenwände | 110 |
| Höhe derselben | 51 |

Unter diesen Mafsen will ich nur auf zwei Punkte aufmerksam machen, in welchen sie, meines Wissens, von den jetzt üblichen abweichen: auf die geringe Breite des Rahmens nämlich im Verhältnifs zur Länge der Nadeln (S. unten No. 3) und ebenso auf die geringe Höhe des Spielraums für die untere Nadel.

Was den ersten dieser beiden Punkte betrifft, so schien es mir, bei der Einwirkung schwacher und unbeständiger Stromeskräfte auf langsam schwingende Nadeln, wie sie hier durchweg stattfindet, vortheilhaft, die Windungen alle möglichst nahe an die Längsmittelebene des Rahmens hinanzudrängen, anstatt sie, wie dies gewöhnlich geschieht, mehr in wagrechter Richtung auszubreiten. In der That erstrecken sich, vermöge dieser Umstände, die beständigen Ablenkungen, welche nach Entwickelung der Ladungen hinterbleiben, und an deren Beobachtung sich in vielen Fällen gerade das gröfste Interesse knüpft, selten über die ersten 15° hinaus; und bei den Ausschlägen ist die Stromstärke, nachdem die Nadel den halben Quadranten durchlaufen hat, bereits als so tief gesunken zu betrachten, dafs kaum ein Zweifel obwalten kann, ob man besser thue, auf die bezeichnete Weise den ersten Stofs, den der noch ungeschwächte Strom der Nadel ertheilt, oder, wie es der flachere Bau des Rahmens mit sich bringt, die Dauer der Einwirkung des durch die Ladungen bereits geschwächten Stromes auf dieselbe zu vergröfsern. Die Breite, die ich, durch diese Betrachtungen geleitet, dem Multiplicatorgewinde ertheilt habe, stimmt zufällig genau mit der überein, welche Nobili selbst vorschrieb; [1] sie beträgt nämlich nur 0.63 der Nadellänge, während Becquerel dies Verhältnifs später für hydroëlektrische Multiplicatoren auf 0.75, für thermoëlektrische sogar auf 1.08 festsetzte. [2]

Der Spielraum für die untere Nadel zweitens wird meiner Meinung nach in der Regel viel zu grofs genommen. Es ist klar, dafs dieser Umstand von dem allerwesentlichsten Einflusse auf die Empfindlichkeit des Multiplicators sein mufs; die von mir gewählte Höhe ist aber, selbst bei Anwendung dickerer Nadeln, bereits mehr als ausreichend, wofern nur der Aufhängepunkt der Nadeln mit der Drehungsaxe des Rahmens gehörig centrirt oder, wie an meinem Instrumente, mit einer Vorrichtung zum Centriren versehen ist, so dafs man nicht nöthig hat, mit Hülfe der Stellschrauben den Drehungspunkt der oberen Nadel in den Mittelpunkt der Theilung zu bringen. In diesem Falle bleibt nämlich, wie man sieht, der Rahmen nicht wagrecht, und es würde, bei geringer Höhe des Spielraums, leicht Anstofsen der unteren Nadel innerhalb desselben stattfinden. Ebenso müssen die ersten Drahtlagen sehr straff aufgezogen und mit besonderer Sorgfalt gefirnifst sein, damit sie weder durch die später aufgetragenen Windungen nach Innen gedrängt werden, noch zarte Seidenfäden von ihrer Bekleidung störend in den Spielraum hineinragen.

[1] Memorie ed Osservazioni ec. vol. I. p. 1. Nota.

[2] Traité de l'Électricité et du Magnétisme. t. II. 1834. p. 17. 18.

### 2. Draht.

| | |
|---|---|
| Länge des Drahtes . . | 1000$^{m}$ |
| Durchmesser . . . . | 0.17$^{mm}$ |
| Zahl der Windungen . | 4650. |

Die Länge des Drahtes und die Zahl der Windungen sind vielleicht noch beträchtlicher. Sie konnten nur nachträglich aus sehr ungenauen Bestimmungen berechnet werden; die obigen Zahlen sind diejenigen, bei denen die geringsten Werthe zu Grunde gelegt wurden. Das Kupfer des Drahtes ist leider nicht rein, sondern zeigt eine deutliche Spur von Eisen selbst nach Entfernung der äufsersten Schicht, welche durch das Ziehen durch Eisen verunreinigt sein könnte.

Der Widerstand der Windungen verschwindet übrigens noch völlig gegen den der thierischen Ketten, wie folgender Versuch lehrt. Der Multiplicator stand, zu thierisch-elektrischen Versuchen vorbereitet, geschlossen da. Dabei tauchen, worüber der folgende Paragraph (unter 3.) Auskunft giebt, seine Platinenden in zwei Gefäfse mit gesättigter Kochsalzlösung, welche mit Hülfe gewisser Vorrichtungen, z. B. eines Dochtes, eines heberförmig gebogenen Rohres, gleichsam durch eine Brücke aus derselben Flüssigkeit verbunden sind. Aus einer unbekannten Ursache war, wie dies öfter zu geschehen pflegt, ein Strom in der Kette vorhanden, der die Nadel in einer geringen beständigen Ablenkung hielt. Ward nun eine 840$^{m}$ lange Strecke von demselben Drahte eingeschaltet, so blieb der Stand der Nadel so gut wie unverändert. Dabei waren also noch nicht einmal thierische Theile mit im Kreise, deren Widerstand den der Salzlösung stets noch um Vieles übertrifft.

Ich kann demnach unbedingt rathen, den Draht, bei gleichen Mafsen des Rahmens, noch dünner, mithin länger, und die Windungen zahlreicher zu nehmen. Freilich scheint er nicht viel feiner besponnen werden zu können; der von mir angewandte war bereits der dünnste, den ich mir in Berlin verschaffen konnte, und auch die Pariser Künstler begnügen sich so ziemlich mit derselben Nummer. [1] Ob der Rahmen selbst noch höher gemacht werden könne, ohne dafs man zu fürchten brauche, dafs der untere Theil der unteren Windungen, oder gar schon die mittleren Lagen der oberen, wegen ihrer wachsenden Entfernung von den Nadeln gar keinen Einfluſs mehr auf ihre Stellung äufsern, bin ich so wenig zu entscheiden im Stande, dafs ich vielmehr nicht

[1] Becquerel, ibid. — Matteucci, Traité etc. p. 22.

einmal weifs, in wie fern ein solches Verhalten nicht vielleicht schon bei den jetzigen Mafsen des Rahmens stattfinden mag.

### 3. Nadeln.

Während des gröfsten Theils meiner Untersuchungen habe ich mich eines Nadelpaars von folgender Beschaffenheit bedient:

| | |
|---|---|
| Länge der Nadeln . . . | $58.4^{mm}$ |
| Durchmesser . . . . . | 1.0 |
| Abstand im Lichten . . | 25.0 |

Die Nadeln sind von Herrn KLEINER's Arbeit, cylindrisch mit kegelförmigen Spitzen, eine Form, die ich, da sie das Ablesen erschwert, jedoch nicht empfehlen möchte. Das Verbindungsstück ist von Neusilber, und bei dem grofsen Abstande der Nadeln von einander freilich etwas schwer. Es wiegt $408^{mgr}$, jede Nadel nur $384^{mgr}$.

Seit einiger Zeit habe ich indefs angefangen, einem andern Spiel Nadeln, gleichfalls von Herrn KLEINER's Arbeit, den Vorzug zu geben, weil es, bei gleicher Empfindlichkeit, eine geringere Schwingungsdauer besitzt. Länge und Abstand derselben sind die nämlichen; die Dicke ist etwas geringer; die Enden sehr scharf und allmälig zugespitzt. Das Gewicht einer jeden Nadel beträgt demgemäfs auch nur $226^{mgr}$; sie sind durch einen plattirten Kupferdraht von $130^{mgr}$ Gewicht verbunden, der um beide nach entgegengesetzten Seiten schraubenförmig aufgerollt ist.

Ich halte es für zweckmäfsig, auf die Dicke und Schwere dieser Nadeln im Verhältnifs zu denen aufmerksam zu machen, welche die Französischen Künstler anzuwenden pflegen. Die Theorie spricht zwar in so fern für leichtere Nadeln, als dieselben vergleichweise eine gröfsere Kraft besitzen. Allein es scheint, als ob mit der Masse zugleich die Stabilität des magnetischen Zustandes der Nadeln eine Abnahme erlitte. Wenigstens klagen PÉCLET [1] und MATTEUCCI, [2] der sich Französischer Instrumente bediente, über die leichte Verletzbarkeit der Astasie ihrer Spiele aus allerlei Ursachen, deren Einflufs ich nach meinen Erfahrungen an jenen schwereren Nadeln gar nicht zu würdigen weifs. Die erstangeführten habe ich unter andern, was allerdings wohl als eine vorzügliche Leistung zu betrachten ist, zwei Jahre lang tagtäglich Strömen ausgesetzt, welche sie häufig gegen die Hemmung führten, ohne dafs ich nöthig gehabt hätte, ihrer Astasie nachzuhelfen, welche

[1] Annales de Chimie et de Physique. Avril 1841. 3. Série. t. II. p. 104. No. 2. 3.

[2] Traité etc. p. 23. 24.

nach diesem Zeitraume immer noch beträchtlich genug war, um sie, vermöge der anziehenden Kräfte der Drahtmassen (S. unten, No. 7), zu verhindern, die Nulllinie der Theilung einzuhalten. Nur die Stärke des Magnetismus jeder einzelnen Nadel hatte, jedoch in beiden in annähernd gleichem Mafse, abgenommen. Dafs sie dabei vor der Einwirkung von Strömen auch nur von der Stärke desjenigen einer kleinen Zinkkupferkette sorgfältig gehütet wurden, namentlich wenn sie sich in dem der Ablenkungsrichtung des Stromes entgegengesetzten Quadranten, wo er demagnetisirend wirkt, befanden, versteht sich, bei der grofsen Anzahl der Windungen des Multiplicators, von selbst. Was übrigens gewifs viel zur Vergänglichkeit der Astasie der Nadelpaare an den Gourjon'schen Instrumenten beiträgt, deren ich zwei hier am Orte zu besichtigen Gelegenheit hatte, ist die Zusammensetzung derselben aus zweien ihren Mafsen, und wahrscheinlich auch dem Gewichte nach sehr von einander abweichenden Nadeln. Die Vergröfserung des Halbmessers der Theilung, die durch die Verlängerung der oberen Nadel bezweckt wird, kann bei der geringen Genauigkeit der Ablesung, welche Multiplicatoren überhaupt gestatten, als ziemlich überflüssig betrachtet werden.

Beim Streichen zweier Nadeln bis zur Gleichheit soll man, wie Nobili selbst zuerst bei Gelegenheit seines vergleichbaren Galvanometers (S. unten, No. 11) bemerkt hat, nachdem man beide bis zur Sättigung magnetisirt, nicht die schwächere zu verstärken, sondern die stärkere zu schwächen suchen, weil jene auf die Dauer nicht mehr Magnetismus aufnehmen kann.[1] Läfst man dies aufser Augen, so findet man nach kurzer Zeit, oft nach Verlauf einiger Stunden, den Stand der Nadeln — s. die folgende Nummer — völlig geändert, und die mühsam hergestellte Astasie zerstört. Das Schwächen der stärkeren Nadel geschieht durch verkehrtes Streichen mit einem äufserst schwachen Magnetstäbchen. Hat man dieselbe jedoch, durch einen unglücklich geführten Strich, auf diese Weise zur schwächeren gemacht, so mufs man sie erst wieder bis zur Sättigung magnetisiren. Auch unterlasse man nicht, sich durch wiederholte Versuche zu überzeugen, dafs die schwächere Nadel wirklich im Zustande der Sättigung ist. Diese Anweisungen beruhen darauf, dafs es, bei einer astatischen Doppelnadel, eben so wohl, wenn gleich in geringerem Mafse, auf die Stärke des Magnetismus jeder Nadel als auf die Gleichheit der Stärken ankommt. Bei der Ablenkung einer einzelnen Nadel durch den Strom verschwindet bekannt-

[1] Memorie ed Osservazioni ec. vol. I. p. 107.* — Becquerel, ibid. — Moser, im Repertorium der Physik. Bd. I. 1837. S. 259.* — Melloni in Archives de l'Électricité. t. I. 1841. p. 656.*

lich [1] die Stärke ihres Magnetismus aus dem Ausdruck für die Gröfse der Wirkung, weil sie in gleicher Weise als Factor des Zählers und Nenners desselben auftritt. Nicht so beim astatischen System, wo im Zähler jenes Ausdrucks die Summe der Producte aus den Stärken beider Nadeln in die bezüglich auf jede derselben wirkenden Stromeskräfte, im Nenner das Product des Erdmagnetismus in den Unterschied jener Stärken zu stehen kommt. Ein Mafs für die Stärke des Magnetismus einer einzelnen Nadel hat man sowohl an der Schwingungsdauer als an dem Abstande, in dem dieselbe eine andere frei aufgehängte Nadel um einen bestimmten Winkel ablenkt; über die Stärke der Nadeln eines astatischen Paares hingegen sagt, wie man leicht sieht, der erstere Umstand gar nichts aus. Man wird daher wohl thun, dieselbe von Zeit zu Zeit durch den Abstand zu prüfen, in dem die Doppelnadel durch eine und dieselbe bis zur Sättigung magnetisirte Nadel um einen und denselben Winkel abgelenkt wird. Allenfalls kann man sich hiezu der Ablenkungserscheinungen durch die Drahtmassen des Multiplicators selbst, von denen später die Rede sein wird (S. unten, No. 7), wenn unglücklicherweise dergleichen vorhanden sind, bedienen. Auch von diesem Gesichtspunkt aus scheint es übrigens wünschenswerth, dafs beide Nadeln einander an Gestalt und Gewicht möglichst gleich seien, da sonst diejenige Nadel, deren Drehungsmoment im Zustande der Sättigung oder bei vorausgesetzter gleicher Stärke des Magnetismus ihrer einzelnen Elemente, gröfser sein würde als das der anderen, das System mit einem unnützen Zuwachse des Trägheitsmomentes belastet.

Die Schwingungsdauer des Nadelpaars kann aus Gründen, die unten einleuchten werden (S. No. 8), mit Sicherheit nur aufserhalb des Multiplicatorrahmens bestimmt werden. Dies geschieht, indem man die Zeit mifst, welche zwischen zweien aufeinanderfolgenden Durchgängen der Nadel durch ihre Gleichgewichtsstellung (S. die folgende Nummer) verfliefst. Mir diente, zu den hier nothwendigen Zeitbestimmungen, eine Duplexuhr von Tiede, welche 0″.4 schlägt. Ein anderes Kennzeichen der Astasie, als die Schwingungsdauer, werden wir sogleich in den freiwilligen Ablenkungen der Doppelnadeln (S. ebendas.) kennen lernen.

Matteucci, der beiläufig eine ziemlich unbefriedigende Anweisung zum Streichen astatischer Nadelpaare giebt, [2] erklärt die Astasie für

[1] Poggendorff in seinen Annalen u. s. w. 1842. Bd. LVI. S. 341. — Lenz ebendas., 1843. Bd. LIX. S. 212.

[2] Traité etc. p. 23—25. Der Strich z. B., den Matteucci empfiehlt, ist nach Biot's gewichtigem Urtheile gerade der unvollkommenste von allen: nämlich Aufsetzen des einen Pols des Magneten auf dasjenige Ende der Nadel, welches der

hinreichend, wenn die Nadel eine Schwingung in einer Minute vollziehe. Anderwärts berichtet er von einem Multiplicator, den er und Longet in Paris bei gemeinschaftlichen Versuchen anwandten, dafs die Nadel 70″ zu einer Schwingung gebraucht habe, [1] und Herr Gourjon hat, bei seiner Anwesenheit in Berlin im Herbste 1844, ähnliche Angaben mündlich wiederholt. Ich selbst bin selten so glücklich gewesen, eine Schwingungsdauer von einer halben Minute zu beobachten. Ob dieser bedeutende Unterschied wirklich von nichts Anderem abhängig sei, als von der persönlichen Geschicklichkeit, habe ich noch nicht in Erfahrung bringen können, da ich keine Gelegenheit gehabt habe, ein Gourjon'sches Nadelpaar selbst zu streichen. So gern ich dies zuzugestehen bereit sein würde, so scheint es mir doch deshalb unwahrscheinlich, weil, bei so zahlreichen Versuchen, der Einfluſs jener Bedingung doch wohl einmal durch den Zufall hätte aufgewogen werden müssen. Nichtsdestoweniger geben die verschiedenen Maſse der Gourjon'schen und der Kleiner'schen Nadeln keiner anderen Vermuthung Raum. Die längste der ersteren, die obere an dem hydroëlektrischen Multiplicator, ist nur um ungefähr $^1/_{12}$ länger als die letzteren und viel dünner als dieselben. Auch die kürzeren unteren Nadeln, obschon dicker als die oberen, stehen den meinigen an Durchmesser nach. Bei gleichem Drehungsmomente des Systems könnten die letzteren folglich wenigstens eben so langsam schwingen als die Französischen.

Ich muſs übrigens rathen, bei dem Bau des Multiplicators es vielmehr im Auge zu haben, durch die Anzahl der Windungen und ihre möglichst günstige Lage gegen die Nadeln die genügende Empfindlichkeit zu erzielen, als durch die sich in der Langsamkeit ihrer Schwingungen kundgebende Astasie der Nadeln, aus welcher später eine Menge von Unbequemlichkeiten hervorgehen, da die thierisch-elektrischen Ströme meist zu schwach sind, um eine merkliche Verkürzung der Schwingungsdauer herbeizuführen. Alle Versuche z. B., und dies sind, unter den thierisch-elektrischen, durchweg gerade die wichtigsten, bei denen es sich um die Beobachtung schneller Stromesschwankungen unter dem Einflusse gewisser Bedingungen handelt, die man auf den thierischen Erreger einwirken läſst: alle solche Versuche fallen, sogar bei geringerer Gröſse der durchlaufenen Gradbögen, mit schneller schwingenden Nadeln doppelt so schön und schlagend aus wie mit trägen nicht aus der Stelle kommenden.

gleichnamige Pol werden soll, Streichen nach dem anderen Ende zu, Abheben und Fortfahren auf diese Weise, so lange man es für nöthig hält. Vergl. Biot's Lehrbuch, übersetzt von Fechner. Bd. IV. 1829. S. 46.*

[1] Annales de Chimie et de Physique. Octobre 1844. 3. Série. t. XII. p. 579.*

Schliefslich mag bemerkt werden, wovon unten (S. No. 8) noch mehr die Rede sein wird, dafs es, wenn nicht ganz besondere Vorkehrungen getroffen worden sind, für einen jeden Multiplicator eine bestimmte Grenze der Astasie giebt, die nicht überschritten werden kann, ohne dafs das Instrument aufhört, brauchbar zu sein. Leider war, für meinen Multiplicator, der von mir erreichte Grad von Astasie schon weit über diese Grenze hinaus gelegen.

## 4. Von den freiwilligen Ablenkungen astatischer Nadelpaare.

So kann man, der Kürze halber, einen Umstand bezeichnen, der, beim Streichen eines astatischen Nadelpaars, bis zu einem gewissen Grade wohl unfehlbar Jedem entgegentreten wird, und auf welchen vorbereitet zu sein daher nicht überflüssig erscheinen dürfte.

Auf den ersten Blick sollte man meinen, und diese Vorstellung findet sich in der That hie und da als in der Wirklichkeit ausführbar angegeben,[1] dafs wenn man den Unterschied beider Nadeln immer kleiner werden läfst, endlich ein Punkt kommen müsse, wo sie in jeder beliebigen Richtung gleichmäfsig beharren, indem die Richtkraft, die sie etwa noch besitzen, so geringfügig ist, dafs sie nicht vermag, auch die leichtesten ihr entgegenstehenden Hindernisse, die unmerkliche Drehung des Fadens, den Widerstand der Luft, zu überwinden.

Ampère, dessen Doppelnadel nicht an einem Faden, sondern in der bekannten Weise an einer Stahlspitze in einem Metallnäpfchen schwang, mag vielleicht diesen Zustand wirklich beobachtet haben. Bei der hohen Beweglichkeit aber, welche die jetzige Aufhängungsart zuläfst, kommt derselbe nicht mehr vor. Schon Nobili bemerkte, und zwar gleich in der ersten Arbeit über den Multiplicator mit Doppelnadel,[2] dafs sehr astatische Systeme sich nicht in den Meridian einstellen, sondern eine beliebige andere Lage in einigem Abstande von demselben einnehmen, zu der sie stets mit langsamen Schwingungen zurückkehren, wenn sie daraus entfernt worden waren.

Man findet nun im Allgemeinen, dafs diese Ablenkung, welche wohlbemerkt auch aufserhalb des Multiplicators stattfindet und daher nicht zu verwechseln ist mit den später zu besprechenden, die von den

[1] Ampère et Babinet, Exposé des découvertes nouvelles sur l'Électricité et le Magnétisme. Paris 1822. p. 30.* — Muncke in Gehler's physikalischem Wörterbuche Artikel »Multiplicator«. Bd. VI. Abth. III. 1837. S. 2481.* — Mattbucci, Traité etc. p. 23.*

[2] Memorie ed Osservazioni ec. vol. I. p. 3.*

anziehenden Kräften der Drahtmassen herrührt, mit der Schwingungsdauer wächst, so dafs sie die Umgebung des 90° Punktes erreicht, wenn diese am gröfsten geworden ist. Dies ist folglich der Zustand, der der möglichst vollkommenen Gleichheit beider Nadeln zu entsprechen scheint. Fährt man fort, dieselbe Nadel zu streichen — unter der Voraussetzung, dafs sich beide Nadeln nicht im Sättigungspunkte befinden — so dafs der Unterschied beider wiederum wächst, so fährt ihrerseits die freiwillige Ablenkung zu wachsen fort, bis sich das System um 180° gedreht hat. Streicht man nun die andere Nadel und läfst solchergestalt den Unterschied wieder abnehmen, so kehrt das System auf demselben Wege zurück, den es vorher beschrieben hatte, indem die Schwingungsdauer dieselbe Reihe von Werthen rückwärts durchläuft. Es giebt Nadelpaare, welche sich, bei anfangs überwiegender oberer Nadel, mit dem bezeichneten Ende derselben durch Ost, andere, die sich durch West nach Süden drehen. Man kann aber eine freiwillige Ablenkung von bestimmtem Werthe und Zeichen in eine gleich grofse von entgegengesetztem Zeichen, oder ein auf die beschriebene Weise sich durch Ost drehendes Nadelpaar in ein sich durch West drehendes verwandeln, indem man dasselbe, ohne sonst etwas daran zu ändern, oberst zu unterst umhängt.

Nobili selbst hat bereits den Grund der freiwilligen Ablenkungen in dem niemals ganz vollkommenen Parallelismus der Azimuthebenen der beiden magnetischen Axen erkannt.[1] In der That reicht unter dieser Voraussetzung eine einfache Construction, so wie die von Moser gegebene[2] analytische Entwickelung vollständig aus, um den ganzen, so eben dargestellten Kreis von Erscheinungen auf das leichteste zu erklären. Ich glaube mich deshalb einer ferneren Auseinandersetzung desselben überheben zu können, und will nur darauf aufmerksam machen, dafs ein astatisches System in einer freiwilligen Ablenkung dann im Gleichgewicht ist, wenn die Resultante aus den Kräften beider Nadeln im Meridiane einsteht, und dafs es diese Resultante ist, unter deren Einflufs es seine Schwingungen vollziehend gedacht werden mufs. Bei gleichem Unterschiede der Nadeln fällt dieselbe um so gröfser aus, einen je gröfseren Winkel die beiden magnetischen Axen mit einander machen.

Es giebt übrigens, aufser dem unvollkommenen Parallelismus der Nadeln im Azimuth, wahrscheinlich noch einen anderen Grund für die freiwilligen Ablenkungen der astatischen Paare. Es ist nämlich gewifs sehr schwer, eine Nadel, vorzüglich eine runde, so zu streichen, dafs

[1] Ivi, p. 4. Nota; vol. II. p. 29.

[2] Repertorium der Physik. Bd. I. 1837. S. 260.

man ihr nicht stellenweise, durch seitliche Abweichungen des streichenden Stabes, etwas queren Magnetismus ertheilt. Dafs diese Spuren von Transversalpolarität sich in beiden Nadeln, wenn sie ungleichnamig zusammengefügt werden, einander wie die Längspolaritäten aufheben sollten, dazu ist gar kein Grund vorhanden; sie können sich vielmehr alsdann in jeder beliebigen Weise zusammensetzen. Die Folge davon müssen aber, auch bei dem allervollkommensten Parallelismus der Nadeln, freiwillige Ablenkungen sein. Man übersieht nun leicht, dafs, wenn dies der Ursprung solcher Ablenkungen wäre, man das Zeichen der letzteren nicht nur dadurch würde verkehren können, dafs man das Spiel oberst zu unterst hinge, sondern auch dadurch, dafs man jede einzelne Nadel um 180° um ihre Längenaxe drehte. Auch müfste man, durch eine sonstige Drehung um einen beliebigen Winkel, die Gröfse der Ablenkungen sogleich merklich ändern, und, bei einem gewissen Betrage des Winkels, dieselbe auf Null bringen können. Diese Erfolge habe ich aber in der That durch Drehen der Nadeln in Fällen beobachtet, wo ich mich nicht überreden konnte, dafs zugleich irgend eine Aenderung des Winkels zwischen den Längenaxen der Nadeln vorgegangen sei. Es scheint also wirklich etwas dem Gesagten Aehnliches hier noch mit ins Spiel zu kommen.

Die freiwilligen Ablenkungen an und für sich sind nur von geringer praktischer Bedeutung. Unter der Voraussetzung, dafs keine Ablenkungen durch die Drahtmassen vorhanden sind (S. unten No. 7), folgt man der Nadel mit der Nulllinie, bis sie in derselben einsteht, und arbeitet alsdann, als ob man sich im Meridian befände. Ja man hat den Vortheil, dafs, da vermöge der freiwilligen Ablenkungen das Nadelpaar sich seine Gleichgewichtsstellung innerhalb eines ausgedehnten Bruchtheiles des Kreisumfanges sucht, es sich häufig auf diese Weise bequemer zur Beobachtung stellt, als wenn es, in derselben Hinsicht, auf den genauen Meridian eingeschränkt wäre. Bei Gegenwart von Ablenkungen durch die Drahtmassen tritt zwar der Uebelstand hervor, dafs wenn ein Berichtigungsstab (S. unten, No. 8) angewandt werden soll, ein gröfserer Spielraum für denselben rings um den Multiplicator nothwendig wird, worauf wir sogleich zurückzukommen haben werden (No. 6). Allein auch dieser Uebelstand fällt sehr gering aus, da man es stets in seiner Gewalt hat, die Astasie so weit zu treiben, dafs das Spiel sich senkrecht oder nahe senkrecht auf den Meridian stellt. Man kann also dreist die übrigen Einrichtungen, die bei vollkommen parallelen Nadeln durch den Meridian bestimmt worden wären, statt dessen im Voraus auf den entsprechenden Parallelkreis beziehen. Und auf alle Fälle bliebe noch immer der erhebliche Vortheil

zu nennen, dafs man, vermöge der freiwilligen Ablenkungen, ohne die Schwingungsdauer des Nadelpaares zu prüfen, stets auf das sicherste von dem Zustande seiner Astasie unterrichtet ist, da eine jede Schwankung dieses Zustandes eine Veränderung in der Stellung der Nadeln und zwar, je nachdem die eine oder die andere das Uebergewicht erhielt, bald in dem einen und bald in dem andern Sinne nach sich zieht. So dienen sie schon während des Streichens zur Beurtheilung der Fortschritte, die die beiden Drehungsmomente nach der Gleichheit zu machen; der Unterschied derselben verschwindet, wie bemerkt, wenn das System sich senkrecht auf den Meridian einstellt.

Bei alledem versteht es sich von selbst, dafs, da der Grad von Astasie, den man zu erlangen vermag, dem Gesagten zufolge nicht nur von der Gleichheit beider Nadeln, sondern auch von dem Winkel zwischen ihren Axen abhängt, man sich zu befleifsigen hat, diesen Winkel möglichst zu verkleinern. Auch ist darauf zu sehen, dafs die Nadeln möglichst grade seien, eine Bedingung, die mit der des erforderlichen Härtegrades keinesweges leicht zu vereinigen ist. Verwerflich erscheint von diesem Gesichtspunkte aus die Verbindung beider Nadeln durch ein zwar leichtes, aber auch leicht zu verbiegendes Drahtgeflecht, statt eines steifen Zwischenstückes. Die Gourjon'schen Doppelnadeln haben beiläufig ein solches Geflecht aus dünnem Kupferdraht, weshalb die geringere Schwingungsdauer meiner Nadeln im Verhältnifs zu denselben nicht, wie jetzt vielleicht geschlossen werden könnte, von dem vollkommneren Parallelismus der letzteren abzuleiten ist.

### 5. Von der Aufhängung der Nadeln.

Die Nadeln werden in ein Häkchen, an einem ungefähr 140$^{mm}$ langen einfachen Kokonfaden eingehängt. Man mufs den Faden nicht länger nehmen, als es nöthig ist, um den Einflufs der Drehung verschwinden zu machen, da dies mehrere Nachtheile mit sich führt. In gleichem Mafse mit seiner Länge nämlich wächst unter andern die von Wilhelm Weber untersuchte [1] nachträgliche Dehnung des Fadens, die ich hier, unter dem Gewichte der schwereren Nadeln (S. oben S. 165), manchmal so lange habe anhalten sehen, bis die Arretirungsschraube, welche die Nadeln trägt, nicht mehr ausreichte, um sie von der Theilung emporzuheben. Ebenso nimmt begreiflicher Weise mit der Höhe des Aufhängepunktes die Unsicherheit desselben zu, wenn man nicht, was abermals seine Nachtheile hat, den die Nadeln tragenden Ständer gleichzeitig verdicken will.

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1835. Bd. XXXIV. S. 247.

Den Kokonfaden bereite ich nicht, wie gewöhnlich, aus roher Seide, sondern aus einem Seidenpräparat, welches mir von einem erfahrenen Techniker zu diesem Zweck empfohlen wurde: es ist zweimal in Französischer Seife ausgekochte rohe Seide. Mit dem Vorzuge, dafs es ungleich leichter ist, daraus einfache Fäden von grofser Länge darzustellen, verbindet es den einer gröfseren Geschmeidigkeit und einer geringeren, vorzüglich nachträglichen Dehnbarkeit.

Der Abstand der Nadeln sollte genau genommen so gewählt und das Spiel so aufgehängt sein, dafs jede beziehlich das Maximum der Wirkung erführe, dessen sie, vermöge der Anordnung der Drähte, fähig ist. Ohne den Spalt in den oberen Drähten würde dies für die obere Nadel dann stattfinden, wenn sie denselben möglichst nahe, für die untere, wenn sie in der Mitte ihres Spielraums schwebte. [1] Ob und inwiefern diese Bestimmungen, auf die jedoch im Vergleich zur Astasie, zur Zahl der Windungen u. s. f. nicht viel ankommen dürfte, durch die Gegenwart jener Lücke wenigstens für kleinere Winkel eine Abänderung erleiden, möchte schwer zu sagen sein.

Nobili meinte, dafs die stärkere der beiden Nadeln zur untern gemacht werden müsse, weil diese eine gröfsere Einwirkung vom Strom erfahre, als die obere. [2] Indessen er selbst schrieb dieser Bemerkung nur einen geringen praktischen Werth zu, und in der That möchte ich Niemand rathen, derselben zu Gefallen Hand an ein gut astatisches Paar zu legen, um der unteren Nadel auf irgend welche Weise, wenn auch nur durch Vertauschen mit der oberen, das Uebergewicht zu verschaffen.

## 6. Von der Aufstellung des Multiplicators.

Dafs der Multiplicator auf einem in der Mauer eines wenig Erschütterungen ausgesetzten, auch z. B. vor dem Winde geschützten Gebäudes wo möglich ohne Anwendung von Eisen befestigten Wandconsol aufgestellt sein müsse, [3] versteht sich von selbst. Bei nicht eisenfreien Windungen ist es zweckmäfsig, dafs das Consol selbst Raum genug für die Aufstellung eines Berichtigungsstabes darbiete; dafs es also nicht nur lang genug sei, um denselben hinreichend von der Nadel entfernen zu können, sondern auch breit genug, um dies für verschiedene Werthe der freiwilligen Ablenkungen zu gestatten. Mein Consol

[1] Vergl. Poggendorff in seinen Annalen u. s. w. 1842. Bd. LVI. S. 341.

[2] Memorie ed Osservazioni ec. vol. II. p. 32.

[3] Vergl. Melloni in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1836. Bd. XXXIX. S. 6.

Störung durch die Drahtmassen fühlbar, die Nadel hält leicht die Nulllinie ein. Bei gröfserer Astasie bemerkt man meistens zuerst, dafs die Stellung der Nadel im Multiplicator nicht mehr völlig mit der aufserhalb desselben beobachteten übereinstimmt. Folgt man jetzt der Nadel mit den Windungen, so flieht sie bis zu einer gewissen Lage derselben vor der Nulllinie her, wobei sich der Winkel zwischen ihr und der letzteren indefs stets verkleinert. Ueberschreitet man diese Lage, so schlägt die Nadel plötzlich durch den Nullpunkt durch und sucht jenseits desselben eine feste Gleichgewichtsstellung auf. Wird endlich die Astasie noch vollkommener, so verwickeln sich die Erscheinungen. Zuerst nämlich rückt die Lage der Windungen, bei der das Durchschlagen erfolgt, immer weiter vom Meridiane fort. Dann bemerkt man, dafs die Nadel, noch ehe dieselbe erreicht ist, durch den Nullpunkt in den entgegengesetzten Quadranten hinübergeführt, auch hier in festem Gleichgewichte verharrt. Dagegen in der Nähe des Nullpunktes sich selbst überlassen, stellt sie sich bald rechts, bald links von demselben ein. Sie ist folglich auf ihm oder sonstwo in seiner Umgebung in labilem Gleichgewicht. Die Punkte des festen Gleichgewichts in beiden Quadranten sind dabei, wie sich erwarten liefs, für die verschiedenen Stellungen des Rahmens, für welche dies labile Gleichgewicht stattfindet, nicht dieselben. Wenn nämlich zuerst das feste Gleichgewicht auch in dem dem ursprünglichen entgegengesetzten Quadranten möglich geworden ist, findet es hier viel näher an der Nulllinie statt, als in dem ursprünglichen Quadranten. Dann kommt allmählig eine mittlere Lage des Rahmens, für welche der Winkelabstand beider Gleichgewichtslagen von der Nulllinie nicht merklich unterschieden ist. Hier scheint das labile Gleichgewicht auf dieser Linie selbst, oder wenigstens in ihrer nächsten Nachbarschaft, stattzufinden, da man beiderseits die Nadel sehr nahe an den Nullpunkt heranführen kann, ohne dafs Durchschlagen erfolgt. Endlich nähert sich die feste Gleichgewichtslage im ursprünglichen Quadranten der Nulllinie, während die im entgegengesetzten sich ihrerseits entfernt, bis zuletzt das Gleichgewicht im ursprünglichen Quadranten unmöglich wird, d. h. die Nadel freiwillig durchschlägt, so wie man die Windungen um eine auch noch so kleine Gröfse näher an dieselbe hinanbringt. Die Gröfse der freiwilligen Ablenkung selbst, welche bisher, bei wechselnder Schwingungsdauer, als beständig vorausgesetzt wurde, scheint übrigens auf diesen Hergang keinen bemerkbaren Einfluſs auszuüben, nur dafs eben Alles in einem verschiedenen Winkelabstande von dem Meridiane vor sich geht.

Das Allgemeinste dieser Erscheinungen hat abermals bereits Nobili

selbst beobachtet und zum Theil richtig erklärt.[1] Er fand, dafs sehr empfindliche Doppelnadeln durch die Drahtmassen zu beiden Seiten der Nulllinie um 15 — 20° abgelenkt wurden, und leitete diese Wirkung, nachdem er vergeblich gesucht hatte, sie durch die Drehung des Fadens oder den ungleichmäfsigen Eisengehalt des Messings zu erklären, woraus der Rahmen und die Theilung seines Multiplicators bestanden, von der Spaltung der oberen Windungen in zwei symmetrische Hälften ab. So befinde sich auch eine Magnetnadel über der Mittellinie des Zwischenraumes zwischen zweien Eisendrähten oder -Streifen in labilem Gleichgewicht und gerathe alsbald nach der einen oder nach der andern Seite zu in eine feste Gleichgewichtslage. Seitdem ist diese Beobachtung sehr oft erneuert und die von Nobili gegebene Erklärung wiederholt worden, ohne dafs man sich jedoch auf eine genauere Untersuchung weder des Thatbestandes, noch der ihm zu Grunde liegenden Bedingungen eingelassen hätte. Interessant ist die von Péclet angegebene Abweichung, der, statt von zweien, von dreien festen Gleichgewichtslagen der Nadel spricht, wovon eine im Nullpunkt, die beiden andern zu beiden Seiten desselben auf $\pm$ 20° stattfanden.[2]

Eine gründlichere Einsicht in den Zusammenhang der oben beschriebenen Erscheinungen wird uns jedoch von Nutzen sein, um die Art und Weise zu beurtheilen, wie denselben am besten vorzubeugen sei. Wir bedienen uns, um dazu zu gelangen, einer geometrischen Construction, welche der nicht unähnlich ist, mit deren Hülfe Poggendorff das allgemeine galvanometrische Gesetz erkannt hat.[3]

Taf. I. Fig. 1 — 4 bedeutet die Abscissenaxe den Gradbogen der Multiplicatortheilung. Der Punkt 0° entspricht überall der Nulllinie, welche zunächst (Fig. 1) im Meridiane einstehend zu denken ist. Im Punkt *A* (ebendas.) finde dabei eine freiwillige Ablenkung der Nadel statt. Dies heifst, wie man sich erinnert, so viel, als dafs die Resultante aus den Kräften beider einander nicht vollkommen parallelen Nadeln mit der magnetischen Axe der stärkeren Nadel, welche wir uns in *A* einstehend denken wollen, einen Winkel macht, der dem Stück *A* 0° der Abscissenaxe entspricht, und dafs sie bei der Lage *A* der Nadel folglich im Meridiane einsteht. Man thut am besten, mit Rücksicht auf die freiwilligen Ablenkungen, sich die Nadeln nur noch als der Erde gegenüber völlig unwirksame, oder im strengsten Sinne

[1] Sul magnetismo dei fili de' galvanometri. Reggio 27 Marzo 1828. In: Memorie ed Osservazioni ec. vol. I. p. 102. tav. II. fig. 20.*

[2] Annales de Chimie et de Physique. Avril 1841. 3. Série. t. II. p. 104. 1°. 106.*

[3] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1842. Bd. LVI. S. 324. Taf. II. Fig. 4.*

astatische Zeiger vorzustellen, die in einer durch das Verhältnifs der Kräfte beider Nadeln und die Gröfse des Winkels zwischen denselben bestimmten Richtung an einen Magnet von verschwindendem Trägheitsmomente befestigt wären, dessen Axe mit jener Resultante zusammenfällt und dessen Drehungsmoment dem des Systemes gleichkommt. Wird dieses aus seiner Gleichgewichtslage gestört, so wirken in jedem Punkte der Abscissenaxe, die es durchläuft, Kräfte auf dasselbe, welche es nach $A$ zurückzuführen streben, und dem Sinus der Winkelabstände von $A$ proportional sind. Dies beruht auf dem geometrisch leicht darstellbaren Satze, dafs der Unterschied der Projicirenden der beiden Seiten eines Parallelogramms auf eine den Winkel zwischen diesen Seiten beliebig theilende Gerade stets gleich ist der Projicirenden der Diagonale des Parallelogramms auf dieselbe Gerade. Das Gesetz jener Kräfte kann folglich je nach der Gröfse der Resultante des Systems dargestellt werden durch die Sinuscurven von verschiedenem Radius bei gleicher Abscisse $AB$, $AB'$, $AC$, $AC'$, u. s. f.

Es handelt sich jetzt darum, in gleicher Weise die Curven zu entwerfen, deren Ordinaten die Gröfse der Kräfte ausdrücken, welche von den Windungen aus auf die in einem bestimmten Winkelabstand von der Nulllinie befindliche Nadel wirken. Diese Kräfte, so nehmen wir an, gehen aus von dem in dem Kupfer des Drahtes gleichmäfsig vertheilten weichen Eisen, in welchem die Nadel in ihrer Nachbarschaft Magnetismus erregt. Die Eigenschaften des weichen Eisens können wir demselben unbedingt zuschreiben, da die Windungen, selbst nach jahrelangem Gebrauch, keine Polarität annehmen, sondern sich an allen Punkten gleichmäfsig gegen beide Enden der Nadeln verhalten. Das labile Gleichgewicht auf der Nulllinie rührt nun, nach Nobili's allgemein verbreiteter Meinung, blos daher, dafs der Nordpol z. B. der oberen Nadel zu beiden Seiten des Spaltes Südmagnetismus erregt, bei der geringsten Abweichung von der Mittellinie jedoch stärker auf der einen als auf der anderen Seite, wozu noch kommt, dafs er jetzt, wegen verschiedener Entfernung, hier schwächer wie dort angezogen wird. Die Nadel wird folglich nach der Seite hin abgelenkt, nach der die ursprüngliche, noch so kleine Abweichung stattgefunden hatte. Diese Ansicht ist jedoch in sofern nur zum Theil richtig, als sie ohne Weiteres voraussetzt, dafs, bei Abwesenheit des Spaltes, das labile Gleichgewicht nicht vorhanden sein würde, während dies ein Punkt ist, der selber einer Aufklärung bedarf. Nämlich nur über einer kreisrunden mit derselben centrirten Eisenscheibe versteht es sich von selbst, dafs eine der Erdkraft entzogene Magnetnadel überall im beweglichen Gleichgewichte sei; über jeder anderen Figur sucht sie sich dem längsten

Durchmesser zu nähern, und wenn man daher eine quadratische Scheibe weichen Eisenbleches unter ein astatisches Nadelpaar bringt, so dafs die Ebene der freiwilligen Ablenkung die Scheibe in zwei gleiche Rechtecke theilt, so sieht man das System, genau wie im Multiplicatorrahmen, bald rechts bald links von dieser Ebene nach den Diagonalen der Scheibe hin abweichen. Nichtsdestoweniger ist es, wie die Folge lehren wird, richtig, dafs, nach Zuwickelung des Spaltes, selbst bei viereckter Form des Gewindes kein labiles Gleichgewicht auf der Nulllinie mehr stattfindet. Aber man sieht, dafs dieser Umstand, weit entfernt, sich von selbst zu verstehen, vielmehr ebensosehr der theoretischen Begründung bedarf, als das labile Gleichgewicht über dem Spalte. Es lassen sich zwei Ursachen dafür anführen. Erstens die Wirkung der senkrechten Theile der Windungen, durch welche die oberen in die unteren übergehen und umgekehrt, auf die untere Nadel. Zweitens, dafs ein System paralleler, von einander isolirter Eisendrähte denn doch nicht einer stetigen Eisenscheibe vergleichbar sei; dafs, bei quadratischer Form des Gewindes, und senkrechter Stellung der Nadel zu den Windungen, viel geringere Kräfte auf dieselbe wirken dürften, als bei paralleler Stellung der Nadel, weil nämlich eine kürzere und unterbrochene Strecke Drahtes für eine längere und stetige eintritt; dafs vielleicht dadurch eine so rasche Abnahme der Kräfte vom Nullpunkte aus bedingt sei, dafs dergestalt das feste Gleichgewicht auf demselben möglich werde.

Wir können, nach dieser Verständigung, Nobili's Erklärung gelten lassen, und es ergiebt sich alsdann folgender Gang der Curve, die wir, der Kürze halber, störende Curve nennen wollen. Auf dem Nullpunkte ist die Ordinate Null. Wenn dagegen die Pole der Nadel die ersten Windungen hinter sich gelassen haben, scheint die Kraft am gröfsten sein zu müssen. Sie geht dann schnell wieder abwärts, indem jetzt für einen Theil der Nadel auch auf der der Nulllinie zugewandten Seite Kräfte vorhanden sind, welche die Wirkung der nach Aufsen gelegenen Windungen bekämpfen. In der Nähe der Diagonale des Gewindes mufs die Curve die Abscissenaxe schneiden, ihre Ordinaten werden negativ, die Drahtmassen wirken fortan, statt ablenkend, vielmehr einlenkend auf die Nadel. Endlich mufs die Curve, nachdem sie ein zweites, negatives Maximum an der Stelle überschritten, wo sie die Breite des Gewindes verläfst, am 90°-Punkte zum dritten Male die Abscissenaxe erreichen.

Empirisch läfst sich die Gestalt der gesuchten Curve in jedem einzelnen Falle mit aller Genauigkeit darstellen, welche die Einrichtung des Instrumentes gestattet. Es ist dazu nur nöthig, die Stellung der

Nadel für eine angemessene Reihe von Stellungen des Rahmens abzulesen, und die Sinus der Winkel zu nehmen, um welche sie aus der Ebene ihrer freiwilligen Ablenkung entrückt ist, so hat man das Mafs der störenden Kräfte der Drahtmassen bei der gegebenen Stellung der Nadel gegen die Windungen. Auf diese Weise ist in ihren Hauptzügen die in Fig. 1 verzeichnete Curve gewonnen, welche dem oben theoretisch vorgeschriebenen Gange im Wesentlichen entspricht, insofern ich es nämlich, wie für die Sinuscurven, vorgezogen habe, die negativen Ordinaten nicht unterhalb der Abscissenaxe, sondern, gleich den positiven, oberhalb derselben aufzutragen, und sie nur durch Pfeile, welche ihre Wirkungsrichtung anzeigen, von den letzteren zu unterscheiden, eine Art der graphischen Darstellung, die sich in der Folge bequemer erweist. Der Punkt *B*, wo die Curve die Abscissenaxe erreicht, sie aber sogleich, mit veränderter Wirkungsrichtung ihrer Ordinaten, wieder verläfst, entspricht folglich einem Schneidepunkte derselben mit der Axe; und in der That zeigt es sich denn, dafs auch ungefähr in diese Gegend (19°.5) der Schneidepunkt der Diagonale des Gewindes fällt. Das positive Maximum findet bei ungefähr 8°.5 statt, während die Nadel bei 5° die ersten Windungen schneidet; das negative, wie man sieht sogar etwas beträchtlichere, bei ungefähr 50°, wo nämlich die Nadel die Breite des Gewindes zu überschreiten anfängt.

Von der störenden Curve ist aufserdem, im Gegensatze zu denen der Erdkraft, zu erinnern, dafs die Gröfse ihrer Ordinaten als von dem Unterschiede der Nadeln unabhängig betrachtet werden kann, obschon die Kräfte, welche diese Ordinaten darstellen, von der Stärke des Magnetismus der Nadeln selbst unmittelbar abhängig sind. Allein der Grund davon ist, dafs eine Veränderung jenes Unterschiedes um ein Vielfaches einer Veränderung der Stärke des Magnetismus einer Nadel um einen verschwindenden Bruchtheil entsprechen kann, wofern nur der Unterschied hinlänglich klein im Verhältnifs zur Stärke des Magnetismus der Nadeln aufgefafst wird. Von dem gröfsten Einflusse auf den Gang der störenden Curve ist dagegen die Höhe, in welcher die Nadeln zwischen den Windungen schweben, wodurch die Beobachtung desselben, bei der Unbeständigkeit dieser Höhe, sehr erschwert wird.

Wir haben jetzt die Grundlagen unserer Betrachtung beisammen. Es kommt nur noch darauf an, die durch die Sinus- und die durch die störenden Curven dargestellten Kräfte, wie es in der Wirklichkeit der Fall ist, in der geometrischen Construction in Conflict gerathen zu lassen, und die daraus entspringenden Lagen verschiedenen Gleichgewichtes mit den durch die Beobachtung gegebenen zu vergleichen. Da die Abscissen in unserer Figur entwickelte Gradbogen sind, so

geschieht dies, nach Poggendorff's Vorgang bei der oben erwähnten Gelegenheit, dadurch, dafs die beiden Systeme von Curven längs der Abscissenaxe gegeneinander verschoben werden, wie es sich in Wirklichkeit bei der Drehung des Rahmens im Azimuth ereignet. Eine Gleichgewichtslage findet dann überall statt, wo zwei Curven von entgegengesetzter Wirkungsrichtung einander schneiden. Das Gleichgewicht ist dabei, wie man leicht erkennt, ein festes oder ein labiles, je nachdem diese Richtungen in den zu beiden Seiten des Schneidepunktes zwischen den Curven begriffenen Flächenräumen beziehlich einander begegnen oder auseinandergehen.

Die Fig. 1 stellte diejenige Lage des Rahmens vor, bei der die Nulllinie in dem Meridian einsteht. Man sieht, dafs nur für den Fall, wo die freiwillige Ablenkung zufällig übereinstimmen sollte mit dem Winkelabstande des Schneidepunktes *B* der störenden Curve mit der Abscissenaxe vom Nullpunkte, die Stellung der Nadel innerhalb des Rahmens die nämliche bleiben wird, die sie aufserhalb desselben war; ist die freiwillige Ablenkung gröfser, so wird das Spiel nach dem Nullpunkte eingelenkt, ist sie kleiner, so wird es weiter abgelenkt erscheinen.

Was, beim Verschieben des Rahmens, oder des Systems der störenden Curven von der Rechten zur Linken, und bei verschiedenen Graden der Astasie des Nadelpaares, nun vor sich gehe, zeigen die Figuren 2, 3, 4. Der gröfseren Deutlichkeit halber ist, statt des Systems der störenden Curven, vielmehr das der Sinuscurven in verschiedenen durch die Verschiebung hervorgebrachten Stellungen gezeichnet worden. Es versteht sich dabei von selbst, dafs wir nun die Betrachtung von der Linken zur Rechten anzustellen haben, um nacheinander die Erscheinungen erfolgen zu sehen, die sich beim Drehen der Windungen von der Rechten zur Linken zeigen. Wir gehen dabei übrigens nur auf dasjenige näher ein, was sich zwischen den beiden Schneidepunkten *B*, *B'* der störenden Curven mit der Abscissenaxe ereignet, da das darüber hinausgelegene von geringerer Wichtigkeit, und nach dem bereits gesagten ohne Weiteres verständlich ist.

Fig. 2 zeigt uns den Gang der Nadel, während die Nulllinie durch den Punkt *A* der freiwilligen Ablenkung hindurchgeführt wird, bei so geringer Astasie derselben, dafs beim Zusammenfallen der Nulllinie mit der Ebene der freiwilligen Ablenkung die an die Sinuscurve in ihrem Schneidepunkte mit der Abscissenaxe gelegte Tangente einen gröfseren Winkel mit dieser Axe macht, als die ebendaselbst an die störende Curve gelegte Tangente, ohne dafs jedoch fernere Schneidepunkte beider Curven vorhanden seien. Es giebt stets nur eine feste

Gleichgewichtslage ($s$, $s'$, $s''$), welche, wie die linker Hand befindliche Kuppe der störenden Curve den linken Arm der Sinuscurve in immer höheren Punkten zu schneiden beginnt, sich immer weiter von $A$ entfernt, bis der Scheitel selbst schneidet; dann durch den Nullpunkt nach der entgegengesetzten Seite wandert, wo sie gleichfalls das Maximum ihrer Elongation erfährt, wenn der Scheitel der rechts befindlichen Kuppe der störenden Curve den rechten Arm der Sinuscurve schneidet; und endlich wieder in $A$ anlangt, wenn der Schneidepunkt $B$ der störenden Curve mit der Abscissenaxe in die Ebene der freiwilligen Ablenkung tritt. Bei ganz stetiger Bewegung des Rahmens würde diese Wanderung der Nadel gleichfalls ohne allen Sprung vor sich gehen. Eine solche Bewegung ist in Wirklichkeit jedoch unausführbar, da man, an gewöhnlichen Multiplicatoren, höchstens von Viertel- zu Viertel-Grad fortschreiten kann. So kommt es, dafs die Nadel jenen Weg vielmehr sprungweise zurücklegt, und es ist einleuchtend, dafs die Sprünge derselben für gleiche Verrückungen der Windungen um so gröfser ausfallen werden, je mehr die allgemeine Richtung der sich gerade schneidenden Stücke der beiden Curven zusammenfällt. Betrifft ein solcher Sprung gerade den Nullpunkt, wie dies, bei mangelhafter Centrirung der Nadel mit der Theilung, der Theilung mit den Windungen, der Windungen mit der Drehungsaxe, selbst dann der Fall sein kann, wenn man sich bemüht, die Nulllinie möglichst genau in den Punkt $A$ der freiwilligen Ablenkung einzustellen, so sagen wir, dafs die Nadel durchschlägt. Da nun die allgemeine Richtung der störenden Curven in der Nähe der Nulllinie mit der der Sinuscurven mehr zusammenfällt, als in gröfserer Entfernung von derselben, und dies bis zu einer gewissen Grenze um so mehr, je kleiner der Radius der letzteren wird, so erklärt sich hieraus nicht nur die überwiegende Gröfse des Sprunges der Nadel über den Nullpunkt fort, im Gegensatze zu ihrem allmäligeren Fortrücken in einem gewissen Abstande von demselben, sondern auch das Wachsen der Gröfse dieses Sprunges mit der Schwingungsdauer des Spieles.

Nimmt sodann der Radius der Sinuscurve immer mehr ab, so kann, unter der Voraussetzung, dafs die erste Ansteigung der störenden Curve gegen die Abscissenaxe convex sei, das von Péclet beobachtete, oben S. 177 erwähnte Verhalten eintreten. Die Bedingungen desselben sind Fig. 3 dargestellt. Die an die Sinuscurve in ihrem Schneidepunkte mit der Abscissenaxe gelegte Tangente macht zwar noch immer einen gröfseren Winkel mit dieser Axe, als die ebendaselbst an die störende Curve gelegte Tangente, allein die zweite in Fig. 2 verwirklichte Bedingung ist nicht mehr erfüllt, dafs nämlich beide Curven keine ferne-

ren Schneidepunkte mit einander gemein haben. Die allgemeine Richtung derselben mufs man sich vielmehr so zusammenfallend denken, dafs die Sinuscurve die störende Curve jederseits vom Nullpunkte in zwei Punkten schneidet, wenn derselbe im Punkte $A$ einsteht. Der erste Schneidepunkt $(l, \lambda)$ ist alsdann, wie man sieht, eine labile Gleichgewichtslage, der zweite, äufsere $(s, \sigma)$, eine feste. Festes Gleichgewicht findet aufserdem im Nullpunkt $(S)$ oder sonst wo in seiner nächsten Umgebung statt. Dafs dieses Verhalten von mir und vielen Andern nicht wahrgenommen worden ist, kann sowohl daran liegen, dafs PÉCLET's Instrument eine genauere Führung des Rahmens gestattete, als an der Gestalt der störenden Curve, die in den verschiedenen Multiplicatoren begreiflich sehr verschieden sein kann. Je stärker sie zwischen den beiden Schneidepunkten von der Sinuscurve abweicht, um so gröfser wird der Spielraum der Stellungen des Rahmens sein, für welche drei feste Gleichgewichtslagen vorhanden sind; je mehr sie dagegen in ihrem Verlaufe sich der Sinuscurve anschliefst, um so bedeutender mufs der Sprung der Nadel durch den Nullpunkt für eine und dieselbe Verschiebung der Windungen über denselben hin ausfallen. An meinem Multiplicator, der in Rücksicht auf die Centrirung seiner verschiedenen Theile, auf die Führung des Rahmens u. d. m. leider im höchsten Grade unvollkommen ist, war ich sogar aufser Stande, Aufschlufs über die Gestalt der Ansteigungen der störenden Curve auch nur im Allergröbsten zu erhalten, da die Nadel sich beiderseits niemals näher als ungefähr 7° an den Nullpunkt bringen liefs, ohne durch denselben hindurchzuschlagen.

Endlich Fig. 4 erklärt auf das vollständigste die von allen Beobachtern beschriebene Erscheinung labilen Gleichgewichtes in der Umgebung des Nullpunktes und einer festen Gleichgewichtslage zu beiden Seiten desselben. Bedingung dieses Verhaltens ist, dafs, wenn die Nullinie in $A$ einsteht, die an die Sinuscurve in ihrem Schneidepunkte mit der Abscissenaxe gelegte Tangente einen geringeren Winkel mit dieser Axe mache, als die ebendaselbst an die störende Curve gelegte Tangente, und dafs beiderseits vom Nullpunkte noch ein Schneidepunkt beider Curven vorhanden sei. Das labile Gleichgewicht findet in der Figur nacheinander in den Punkten $l$, $l'$, $l''$ statt, das feste in den Punkten $s$, $\sigma$; $s'$, $\sigma'$; $s''$, $\sigma''$. Man sieht, dafs der Erfahrung gemäfs von den beiden festen Gleichgewichtslagen zuerst die in dem linken Quadranten, wo die Nadel ursprünglich im Gleichgewicht war, dann, nach überschrittenem Punkt $A$, die im entgegengesetzten Quadranten, entfernter vom Nullpunkte zu liegen kommt. So wie die eine Kuppe der störenden Curve auf der einen oder der anderen Seite ganz in die

steigende Wölbung der Sinuscurve untergetaucht ist, hört das doppelte feste Gleichgewicht auf, und es bleiben, je nach der Stellung der Windungen, nur die Lagen $s_0$, $s'''$ übrig, in welche die Nadel sich, wenn sie sich zuletzt im entgegengesetzten Quadranten aufgehalten hatte, mit Durchschlagen begiebt.

## 8. Berichtigung der Ablenkungen durch die Drahtmassen.

In dem Zustande, wie er so eben beschrieben wurde, ist der Multiplicator begreiflich so gut wie unbrauchbar. Man übersieht jetzt, in wie fern oben (S. 169) gesagt werden konnte, dafs ein jeder Multiplicator, wenn nicht ganz besondere Vorkehrungen getroffen worden sind, von denen nun eben die Rede sein soll, nur einen bestimmten Grad der Astasie seiner Doppelnadel zulasse, über den hinaus die Vorrichtung untauglich werde. Es ist klar, dafs dieser Grad um so bedeutender ist, je niedriger, um so geringer, je höher an einem gegebenen Instrumente die Scheitel der Fig. 1—4 verzeichneten störenden Curven ausfallen, da hiervon die Steilheit abhängt, die man den Sinuscurven der Erdkraft verleihen mufs, damit keine Schneidepunkte festen Gleichgewichtes mehr zu beiden Seiten des Nullpunktes entstehen können. Dies entspricht dem, was Melloni sehr passend als »la portée«, als die »Leistungsfähigkeit« eines bestimmten Multiplicators bezeichnet hat.[1]

Diesen Uebelständen, die früh und vielfach empfunden worden sind, hat man sich seit eben so langer Zeit auf mannigfaltige Weise vorzubeugen bestrebt. Die dazu in Vorschlag gebrachten Einrichtungen lassen sich in zwei Klassen unterscheiden. Man hat entweder, gleichsam eine Radicalcur des Uebels im Auge haltend, die Entstehung der Ablenkungen durch die Drahtmassen selbst zu verhindern gesucht, d. h. also die Ordinaten der störenden Curve in unseren vorigen Figuren zu vernichten sich bemüht. Oder man hat sich mit dem Palliativverfahren begnügt, den magnetischen Curven, welche die Nadel nach dem Punkte der freiwilligen Ablenkung zurückzuführen streben, eine solche Steilheit zu verleihen, dafs sie bei derjenigen Lage der Windungen, wo die Nulllinie in diesem Punkt einsteht, zur Ueberwältigung der störenden Curven eben ausreichen. Man sieht, dafs diejenigen, die den ersten Weg einschlugen, zum Ziele gelangt, ihren Nadelpaaren nunmehr eine beliebig grofse Astasie ertheilen durften, hingegen die Verfolger des letzteren Weges in dieser Hinsicht sich darauf beschränkten, die Grenze der Leistungsfähigkeit ihres Multiplicators zu erreichen. Wird die Steilheit der magnetischen Curven über die bezeichnete Grenze hinaus ver-

[1] Archives de l'Électricité. 1842. t. I. p. 662.

mehrt, so verliert der Multiplicator unnützer Weise an Empfindlichkeit; beim Streichen eines Nadelpaares würde es aber begreiflich nur durch Zufall gelingen, die Stärken beider Nadeln dergestalt gegeneinander abzuwägen, dafs jene Grenze genau erreicht, nicht mehr oder weniger in der einen oder der anderen Richtung überschritten würde. Ja man würde kaum, mittelst der Schwingungsdauer, mit einiger Sicherheit ermessen können, wie weit man bereits darüber hinausgegangen sei. Man bedarf also eines Verfahrens, wodurch man in Stand gesetzt werde, die Astasie eines Systemes ganz allmählig und um so kleine Gröfsen zu verändern, dafs jede einzelne derselben in der Empfindlichkeit des Multiplicators keinen merklichen Unterschied verursache; eines Verfahrens, welches zugleich verstatte auf jeder beliebigen Stufe der Astasie, also auch auf der verlangten, nach Willkühr stehen zu bleiben. Zur Kenntnifsnahme des Näheren beider Methoden schreiten wir jetzt.

Was zuerst diejenige betrifft, die das Uebel bei der Wurzel zu erfassen bemüht ist, so trachteten die Einen danach, und unzweifelhaft erscheint dies als das rationellste, sich einfach anziehungsfreie Drähte zu verschaffen. Dies ist das Mittel, welches Nobili selbst zuerst ergriff. Er mufste, da es ihm, bei der Prüfung der salpetersauren Lösung seines Drahtes auf blaue Färbung mittelst Cyankalium nicht gelang, eine Spur von Eisen zu entdecken, den Ursprung der ablenkenden Kräfte in die Masse des Kupfers selbst verlegen. Er strebte deshalb danach, ein anderes, weniger magnetisches Metall ausfindig zu machen. Von Platin und von Silber, die er in Bündeln von 6—7, $\frac{1}{4}^{mm}$ dicken Drahtenden in $1^{mm}$ Entfernung von seiner empfindlichen Doppelnadel auf anziehende Kräfte untersuchte, zeigte sich das erstere nicht ganz, das letztere fast völlig frei von Magnetismus. Er erbaute daher einen silbernen Multiplicator, an dem die Nadel in der That die Nulllinie einhielt.[1] Denselben Ausweg hat Lenz gewählt, der auch kein Eisen in seinem Kupfer aufzufinden vermochte.[2] Melloni hingegen erschien Silber noch magnetischer als Kupfer, aber es gelang seinem Künstler Gourjon eisen- und anziehungsfreies Kupfer darzustellen.[3]

Wiederum H. Schroeder in Mannheim hat keine oder nur eine zweideutige Spur von Eisen in seinem magnetischen Kupfer entdecken können.[4] Auf der andern Seite ist dies Herrn Dr. Riess, wie ich aus mündlicher Mittheilung weifs, und (S. oben S. 164) auch mir gelun-

[1] Memorie ed Osservazioni ec. vol. I. p. 103. 104.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVII. S. 585. 586.

[3] Becquerel, Traité expérimental etc. t. III. 1835. p. 428. — Vergl. Annales de Chimie et de Physique. 1833. t. LV. p. 392. Note.

[4] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1841. Bd. LIV. S. 59.

gen. Wie mir scheint kann es, trotz jener entgegengesetzten Ergebnisse, nicht zweifelhaft sein, dafs der gröfste Theil der magnetischen Kraft des Kupfers von der Verunreinigung durch Eisen herrührt, und ich mufs daher die, meines Wissens von Herrn Prof. Schellbach hieselbst herrührende Idee, galvanoplastisch niedergeschlagenes Kupfer zu Multiplicatordrähten auszuziehen, als epochemachend in der Geschichte dieser Angelegenheit bezeichnen. Wenigstens was thermoëlektrische Multiplicatoren betrifft, so wird man sie, durch die Anwendung galvanoplastischer, nach dem Ziehen durch Eisen mit Säure gewaschener Drähte, nunmehr stets hinlänglich anziehungsfrei darzustellen vermögen. Bei der Verfertigung hydroëlektrischer Multiplicatoren indefs steht der Anwendung galvanoplastischen Kupfers noch das Bedenken entgegen, dafs es fraglich ist, ob sich aus demselben so feine Drähte ziehen lassen werden, wie sie hier nothwendig sind. Die Techniker, die ich hierüber zu Rathe gezogen habe, stellen dieses entschieden in Abrede.

Eine andere Art der Radicalcur, um in diesem Gleichnisse fortzufahren, bestand darin, dafs man dem Multiplicatorgewinde eine solche Gestalt zu geben suchte, dafs dadurch das labile Gleichgewicht auf der Nulllinie vermieden wurde. Dies hat Péclet zuerst ins Werk gesetzt, indem er nämlich, anstatt die beiden Nadeln durch eine gemeinschaftliche, die oberen Windungen durchsetzende Drehungsaxe zu verbinden, sie an einem dieselben ringförmig umfassenden elfenbeinernen Rahmen befestigte, so dafs keine Spaltung der Windungen mehr nöthig war.[1] Wie es alsdann komme, dafs trotz der viereckten Gestalt des Gewindes die Nadel den Nullpunkt einhalte, ist oben S. 179 bereits erörtert worden. Poggendorff bedient sich, um einen Theil der Unbequemlichkeiten zu heben, die diese Einrichtung, wie man leicht übersieht, mit sich bringen mufs, statt des Rahmens nur eines einseitigen, auf der anderen Seite irgendwie aufgewogenen Bügels.[2]

An Péclet's Vorschlag knüpft sich unmittelbar ein anderer, den ich Herrn Kleiner's mündlicher Mittheilung verdanke. Anstatt nämlich den Spalt, bei dem Bau des Instrumentes selbst, mit Windungen zuzuwickeln, soll er nachträglich mit passend zugerichteten Stücken des nämlichen Kupfers ausgefüllt werden, aus dem die Drähte gefertigt sind. Ich habe dieses Verfahren ausgeführt und zweckdienlich gefunden. Da, bei zugewickeltem Spalte zwischen den oberen Windungen, die anziehenden Kräfte der darin befindlichen Drähte die der seit-

[1] Annales de Chimie et de Physique. Avril 1841. 3. Série. t. II. p. 104—107. pl. I. Fig. 5—7.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1842. Bd. LVI. S. 339. Anm.

wärts liegenden aufheben würden, obschon sie keine stetige Kupfermasse darbieten, so ist zu gewärtigen, dafs bei Ausfüllung des Spaltes mit einer solchen, diese an Wirkung die Windungen übertreffen werde, und daher die Bestimmung hinzuzufügen, dafs man nur so viel Kupfer in denselben hineinbringen solle, als nothwendig ist, damit eben die Nadel noch auf Null bleibe, oder, von dem entgegengesetzten Falle ausgehend, dafs durch die Gegenwart der Kupfermassen weder mehr die Schwingungsdauer des Systems innerhalb des Rahmens verkürzt erscheine, noch dasselbe durch Bewegungen des Gewindes im mindesten aus seiner freiwilligen Ablenkung abgelenkt werde. Ich habe dieses auf folgende Weise zu Stande gebracht. Zuerst wurden die beiden Hälften des Spaltes vor und hinter dem Verbindungsstück der beiden Nadeln mit zwei genau in dieselben hineinpassenden Kupferklötzen ausgefüllt. Die Schwingungsdauer zeigte sich aufserordentlich verkürzt, die Nadel stand auf Null und folgte dem Rahmen wohin man wollte. Dasselbe geschah noch, wiewohl in geringerem Mafse, bei Gegenwart nur eines der Kupferklötze. Da doch die Vertheilung des Kupfers eine symmetrische sein mufste, so liefs ich jetzt beide Klötze mittendurch sägen, und behielt nur ihre nach den Polen der Nadeln gelegenen Hälften bei, mit der Sicherheit, die Wirkung der übrigbleibenden Masse nicht geschwächt haben zu können, da ich die eine Hälfte der Kräfte derselben ja vielmehr von einem kürzeren auf einen längeren Hebelarm übertrug. Es zeigte sich aber sogar, dafs auch jetzt noch der eine Klotz ausreichte, um die Nadel mitzunehmen und ihre Schwingungen zu beschleunigen. Es wurden daher beide Klötze nochmals getheilt, ihre äufseren Hälften beibehalten, und dieselbe Operation noch ein drittesmal wiederholt. Nun zeigte sich ein Klotz zu schwach, die Nadel auf Null zu halten, hingegen beide zusammen wirkten noch immer zu stark. Allein indem ich sie im Inneren des Spaltes nach der Drehungsaxe des Systemes hin um möglichst kleine Gröfsen verschob, gelang es zuletzt, einen Punkt zu erreichen, wo die Nadel sich innerhalb des Gewindes fast ganz wie aufserhalb verhielt. So konnte der Multiplicator gleich einem galvanoplastischen gebraucht werden, ohne dafs die Astasie des Systems, die bei diesem Versuche natürlicherweise möglichst grofs genommen wurde — die Nadeln schlugen 32″.8 — noch merkliche Nachtheile wegen des Eisengehaltes der Windungen mit sich brachte. Aus dem geringen, nur wenige Quadratmillimeter betragenden Querschnitt der zuletzt übrig gebliebenen Kupfer-Klötze oder vielmehr -Stäbe läfst sich die, von Herrn Kreiner übrigens bereits mit Erfolg in Anwendung gezogene Weisung entnehmen, die Stifte, welche den Spalt zwischen den oberen Windungen offen halten, aus Kupfer anzufertigen,

wodurch stets schon ein guter Theil der Ablenkungserscheinungen aufgehoben sein wird. Die grofse magnetische Kraft, die das Kupfer bei diesem Versuch entfaltete, obschon es von dem reinsten in Berlin käuflichen, natürlich nicht galvanoplastischen, sondern aus Russischen Münzen dargestellten war, erklärt sich dadurch, dafs die Stäbe zwischen die ungleichnamigen Pole zweier stark magnetisirter Nadeln zu liegen kamen.

Das Kleiner'sche Verfahren ist, insofern dabei die Grenze, welche die Ablenkungen durch die Drahtmassen der anzuwendenden Astasie der Doppelnadel setzen, aufgehoben wird und diese nunmehr bis zu jedem beliebigen Grade getrieben werden kann, noch der ersten oben unterschiedenen Klasse der Berichtigungsverfahren zuzuzählen, bildet indefs in seiner mechanischen Form insofern den Uebergang zu der zweiten derselben, als es auf der Hinzuziehung magnetischer Kräfte beruht, die dem Multiplicatorgewinde ursprünglich fremd sind. Ich weifs nicht, ob ich eine von H. Schroeder empfohlene Compensationsmethode dieser Uebergangsklasse, oder bereits entschieden der zweiten zuzuschreiben habe, da derselbe nicht erwähnt, ob bei ihrer Anwendung die Astasie der Nadel beschränkt blieb oder unbeschränkt wurde. Er bedient sich »eines Paares $1\frac{1}{2}'''$ langer dünner Eisencylinder, die er in »die die Windungen auseinanderhaltenden mittleren Stäbe des Rahmens »horizontal einfügt, und so lange verkleinert oder verschiebt, bis sie »eben ausreichen, die Nadel in der den Windungen parallelen Stellung »festzuhalten; er befestigt sie dann durch etwas Wachs.« [1]

Ich komme jetzt zu der, ihren allgemeinen Grundsätzen nach oben bereits umschriebenen zweiten Klasse von Berichtigungsmethoden in ihrer eigentlichen und charakteristischen Gestalt. Es ist wiederum Nobili, der ein so gründliches Studium des von ihm gleichsam adoptirten Instrumentes gemacht hatte, den wir als den Urheber derselben zu bezeichnen haben. Schon in der Anmerkung zu seiner ersten Arbeit über den Multiplicator mit Doppelnadel schlägt er vor, sich eines dritten, in einiger Entfernung von dem astatischen Systeme passend aufgestellten Magnetes zu bedienen, um die Astasie desselben nach Bedürfnifs bald zu mäfsigen, bald zu erhöhen; [2] und später giebt er den Rath,

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1841. Bd. LIV. S. 60.* — Ich vermuthe, dafs es eines der hier beschriebenen von Kauffmann in Solothurn gebauten, in erfahrenen Händen gewifs sehr guter Dienste fähigen Instrumente war, welches Valentin zu seinen Untersuchungen (S. oben S. 131) zu Gebote stand, um so mehr, als dieser »kleiner mit Firnifs aufgeklebter Eisenstückchen« gedenkt, welche dazu da waren, um, »da alles Kupfer mit etwas Eisen verunreinigt ist, die dann noth»wendigen Störungen durch den Erdmagnetismus (!) aufzuheben.«

[2] Memorie ed Osservazioni ec. t. I. p. 5.*

durch dieses Mittel die Richtkraft der Nadeln zu verstärken, wenn man, um eine Theilung von gröfserem Halbmesser abzulesen, die obere derselben mit einem langen Zeiger versehen habe, in welchem Falle es häufig vorkommen soll, dafs durch den Widerstand der Luft dieselben an einer beliebigen Stelle aufgehalten werden, ohne nach dem Nullpunkte zurückkehren zu können. [1]

Ueber die Art und Weise, diesen Gedanken zu verwirklichen, hat Nobili sich nicht näher ausgelassen. Seitdem ist derselbe, wie natürlich, von mehreren Seiten her zum Theil wieder selbständig gefafst und ausgebildet worden. Vergl. Poggendorff in seinen *Annalen* u. s. w. 1842. Bd. LVI. S. 370*: »*Ueber die Mittel zur Erhöhung der Empfindlichkeit eines Galvanometers.*« Eine von Ruhmkorff zu diesem Behuf ersonnene Vorrichtung hat Matteucci beschrieben. [2]

Am gründlichsten hat sich Melloni mit der Erörterung aller hiebei vorkommenden Verhältnisse in dem schon mehrerwähnten Aufsatze befafst. Stellt man einen Magnetstab in der Azimuthebene, in der ein astatisches System sich im Gleichgewichte befindet, dergestalt auf, dafs seine Axe mit der die senkrechte Entfernung beider Nadeln halbirenden Wagerechten zusammenfällt, so wirkt er mit gleichen und entgegengesetzten Kräften auf beide Nadeln und die Astasie des Systems bleibt unverändert. Hebt oder senkt man den Stab, so wirkt er hingegen beschleunigend oder verzögernd auf dessen Schwingungen, je nachdem die einander am nächsten liegenden Pole des Stabes und des Systems gleichnamig oder ungleichnamig sind. Begreiflich ist diese Einwirkung um so kräftiger, je näher, um so schwächer, je entfernter der Stab; da dessen Abstand aber mit Hülfe mechanischer Mittel um beliebig kleine Gröfsen verändert werden kann, so hat die Feinheit der Abstufungen der Astasie, die man auf diese Weise zu erzielen und festzuhalten, wie auch, bei Schwankungen in dem Zustande des Systems, jeden Augenblick wiederzufinden vermag, fast keine Gränze. So vermag man also ebensowohl eine Doppelnadel von geringer Schwingungsdauer bis zu dem Grade astatisch zu machen, den der Multiplicator eben verträgt, als auch einem für einen gewissen Multiplicator zu astatischen Systeme gerade so viel von seiner Beweglichkeit zu rauben, dafs es keine Ablenkung mehr erleidet. Das erstere bietet jedoch einige Nachtheile dar, die bei Melloni an Ort und Stelle nachzusehen sind, um derenwillen man stets besser thun wird, ein System von höherer Astasie, als zulässig ist, mittelst eines Berichtigungsstabes auf Null

[1] lvi, t. II. p. 33. (2).*

[2] Traité etc. p. 25. pl. I. Fig. 2.*

zurückzuhalten, als den entgegengesetzten Weg einzuschlagen. Für den Berichtigungsstab (barreau compensateur) schreibt Melloni 200$^{mm}$ Länge und 5$^{mm}$ Durchmesser vor; er befestigt ihn auf einem auf- und niederstellbaren Stativ, welches aufserdem vermittelst eines Gelenkes verschiedene Neigungen des Stabes gegen den Horizont zuläfst, und stellt ihn so auf, dafs die in der Azimuthebene des Systemes befindliche gegen den Horizont um ungefähr 45° geneigte Axe des Stabes verlängert den nächsten Pol des astatischen Nadelpaares treffen würde.

Ich habe mich, während der ganzen Dauer meiner Untersuchungen, dieser Anordnung mit dem gröfsten Vortheil bedient, und sie oder eine ähnliche ist es, die ich noch jetzt, mit Hintansetzung des Kleiner'schen Verfahrens, wenigstens Jedem anempfehlen möchte, der nicht bereits in der Handhabung des Multiplicators und der astatischen Systeme eine namhafte Fertigkeit erworben hat. Es findet nämlich der sehr bemerkenswerthe Umstand statt, dafs ein solcher, mit Hülfe des Melloni-schen Berichtigungsstabes und der Ablenkungen durch die Drahtmassen, ganz unzweifelhaft über ungleich höhere Grade von Astasie gebieten wird, als wenn er mit einem anziehungsfreien Gewinde arbeitet, welches keinerlei Einfluſs auf die Schwingungsdauer eines darin spielenden Nadelpaares ausübt. Die Sache ist folgende.

Untersucht man an einem nach Kleiner's Vorschlage berichtigten Multiplicator das Verhältnifs der Dauer gröfserer, jedoch die Breite des Gewindes nicht überschreitender Schwingungen zu derjenigen bei kleineren Amplituden, so findet man dasselbe im Vergleich zu dem an freischwingenden Systemen stattfindenden nicht merklich verändert, d. h. bei der gewöhnlich zu Gebote stehenden Genauigkeit so ziemlich der Einheit gleich. [1] Daraus geht hervor, dafs bei dieser Compensationsmethode in der That die Ordinaten der störenden Curven durch ein ähnliches System entgegengesetzt wirkender aufgehoben sind, auf dieselbe Weise, als ob der Spalt zwischen den Windungen wirklich zugewickelt worden wäre; dafs also eine der Erdkraft völlig entzogene Nadel sich über jedem Punkte des Rahmens, gleichviel ob über dem Spalt oder den Windungen, in beweglichem Gleichgewicht befinden würde. Ganz anders verhält es sich beim Melloni'schen Verfahren. Stellt man hier, nach vollzogener Einrichtung der Nadel, dieselbe Untersuchung an, so findet man, dafs die Dauer der Schwingungen, in dem Mafse, wie diese kleiner werden, in überraschender Weise zunimmt, so dafs sie innerhalb der ersten $\pm 10°$ gegen dreimal so viel Zeit brauchen können als solche zwischen $\pm 40°$ oder noch höhern Punkten des Gradbogens.

[1] S. die von Gauss mitgetheilte Tabelle in Schumacher's Jahrb. für 1836. S. 12.

Es handelt sich hier nicht um den stets unbenommenen, aber, wie gesagt, einige Nachtheile mit sich bringenden Fall, wo man durch Einwirkung des Berichtigungsstabes das System astatisch macht, indem man den zugewandten Pol desselben auf einen gleichnamigen der Doppelnadel richtet; sondern im Gegentheil um den andern, wo der nähere Pol des Stabes ein freundlicher ist, und anziehende Kräfte von demselben ausgehen um das Nadelpaar auf Null zu halten, dessen Astasie also im Grunde beeinträchtigt erscheinen sollte. Nichtsdestoweniger findet man sie, wie aus dem Gesagten hervorgeht, nur bei sehr grofsen Schwingungen vermindert; hingegen bei kleinen Schwingungen ist sie so bedeutend, wie es wenigstens mir niemals gelungen ist, sie durch Streichen herzustellen. Ein Blick auf die Fig. 2 lehrt den Grund dieses Verhaltens. Die Curven der Erdkraft darin stellen, mufs man sich denken, jetzt nicht mehr das Gesetz der wechselnden Gröfse dieser allein, sondern derselben vereint mit den anziehenden Kräften des Berichtigungsstabes vor. Man trage nun in Gedanken die nach Abzug der Ordinaten der störenden Curven von denen der Sinuscurven übrigbleibenden Stücke abermals als Ordinaten einer Curve auf eine Abscissenaxe auf, so erhält man das Gesetz der Kräfte, welche in jedem Punkte des Gradbogens wirklich die Nadel nach dem Nullpunkte zurückzuführen streben. Nach der Gestalt des in der Figur *schraffirten* Flächenraumes wird man die Gestalt der Curve, die auf diese Weise zu Stande kommt, leicht im Voraus beurtheilen können. Sie steigt nämlich vom Nullpunkte bis zum positiven Maximum der störenden Curve sehr langsam an. Dann wächst plötzlich ihre Steilheit, so dafs sie im Punkt *B* die einlenkende Curve der Erdkraft und des Compensators schneidet. Fortan werden die Ordinaten der letzteren Curve um die der störenden Curve, statt vermindert, vermehrt. Man sieht zugleich, dafs dem Punkt *B* ein Wendepunkt der resultirenden Curve entspricht, da sie diesseits desselben vom Nullpunkte convex, jenseits concav gegen die Abscisse ausfällt. Klar ist nun, dafs, je vollkommener die Berichtigung ausgeführt ist, d. h., je geringere Kräfte man auf die Nadel über diejenigen hinaus hat einwirken lassen, die gerade nöthig waren, um sie auf Null zurückzuhalten, um so flacher wird die erste Ansteigung der resultirenden Curve, um so gröfser die Astasie in der Nähe der Nulllinie sein; um so weiter der Schneidepunkt festen Gleichgewichtes von derselben liegen, wohin die Nadel durch die Ordinaten einer ablenkenden Stromescurve geführt werden wird, wenn ein solcher die Windungen durchkreist. Die geringere Dauer gröfserer Schwingungen rührt daher, dafs die beschleunigenden Kräfte, welche die Nadel an den Endpunkten derselben treffen, grofs genug sind, um dieselbe noch

mit Geschwindigkeit durch die in der Nähe des Nullpunktes gelegene Gegend nahezu beweglichen Gleichgewichtes zu treiben. Da ganz ähnliche Verhältnisse aber auch bei Abwesenheit einer compensirenden Vorrichtung obwalten, so sieht man jetzt leicht, weshalb oben S. 167 angerathen wurde, das Nadelspiel auf seine Schwingungsdauer nur aufserhalb des Rahmens zu prüfen. Innerhalb desselben vollzogene Bestimmungen sind ohne allen Werth, wenn nicht zugleich auf die hier auseinandergesetzten Umstände Rücksicht genommen, also mindestens die Gröfse des Schwingungsbogens angegeben ist. Bei 15—20° Ablenkung verflofs zwischen den beiden nächsten Durchgängen meiner schwereren Nadeln durch den Nullpunkt ein Zeitraum von 21—26″; aber innerhalb der ersten ± 10° dauerte eine Schwingung nahe an eine Minute. Dies zeigt einen Grad von Empfindlichkeit in der Vorrichtung an, den durch blofses Streichen herzustellen wenigstens mir, wie gesagt, niemals geglückt ist, und ich glaube schliefslich und abermals darauf aufmerksam machen zu müssen, dafs man sich eine so glückliche Combination nicht entgehen lasse.

Das leichtere Spiel beschrieb die eben bezeichnete Bahn beiläufig in nur 14—18″. Wenngleich die mittlere Schwingungsdauer der Nadeln im Multiplicator auf diese Weise keine sehr beträchtliche war, so würde, dem Gesagten zufolge, doch immer eine viel bedeutendere Zeit auf die völlige Beruhigung derselben hingegangen sein, als es erstens viele Versuche zulassen, welche schnell hintereinander abgemacht sein wollen, und als es zweitens überhaupt dem Beobachter lieb sein kann. Diesem Uebelstande ist es leicht, mit Hülfe eines passend gebrauchten Beruhigungsstäbchens zu begegnen, eines schwachen Magnetstabes, in dessen Handhabung man es bei einiger Uebung bald dahin bringt, die Nadel inmitten der gröfsten und heftigsten Schwingungen fast augenblicklich auf dem Nullpunkte zu fesseln.

## 9. Schwankungen der Gleichgewichtslage der Nadeln und ihre Berichtigung.

Ist es nun geglückt, die Nadel mit Hülfe des Berichtigungsstabes oder sonst auf irgend eine Weise dem Nullpunkte sehr nahe zu bringen, oder gar sie auf denselben einzustellen; oder hat sie auch von vorn herein gar keine Neigung gehabt, denselben zu verlassen: so darf man doch nicht hoffen, dafs dieser Zustand dauernd sein werde. Gleichviel nämlich, ob man nun einige Versuche mit dem Multiplicator anstellt, oder die Vorrichtung ungestört sich selbst überläfst: nach einiger Zeit findet man die Nadel rechts oder links vom Nullpunkt um mehrere

Grade von demselben entfernt. Nach wiederum einiger Zeit hat sie vielleicht ihren früheren Stand wieder eingenommen oder sie ist durch den Nullpunkt gar in den entgegengesetzten Quadranten gewandert, ohne dafs man den Grund dieser Schwankungen klar zu durchschauen vermöchte, auf jeden Fall so dafs man nie die Einrichtung des Multiplicators als vollendet betrachten kann, sondern beim Gebrauch fortwährend kleine Berichtigungen anzubringen hat, von denen alsbald die Rede sein wird.

Ueber die Ursache dieser Erscheinung läfst sich, wie bemerkt, wenig befriedigendes angeben. Melloni erklärt sie »soit par l'influence »des variations hygrométriques sur la torsion du fil de suspension, soit »par les variations photométriques et calorifiques agissant avec une in»tensité différente sur l'aiguille découverte et sur celle qui est abritée »par le châssis.« [1] Die Drehung des Fadens halte ich für verschwindend, und die Wirkungen des Lichtes auf die Magnetnadel möchten auch wohl zu vernachlässigen sein. Dagegen läfst sich einsehen, wie Temperaturveränderungen der einzelnen Nadeln die Gleichgewichtsebene des Systemes zu drehen vermögen. Man erinnert sich, dafs diese dadurch bestimmt ist, dafs die Resultante der Kräfte beider Nadeln in dem Meridiane liegen mufs. Mit der Intensität jeder Nadel ist aber auch der Winkel veränderlich, den diese Resultante mit den Nadeln macht. Nimmt daher, durch eine Wärmestrahlung, welche die untere Nadel der Windungen wegen nicht zu treffen vermag, die obere Nadel allein an Stärke ab, oder strahlt sie aus und nimmt an Stärke zu, so schwankt jener Winkel, und mit ihm begreiflich die Stellung des Systemes im Azimuth. Ist z. B. die obere Nadel die stärkere, und befindet sich ihr Nordpol, vermöge des mangelhaften Parallelismus der Nadeln, von Norden aus gesehen westlich von dem Südpol der unteren, so ist die freiwillige Ablenkung, wie dies an meinen schweren Nadeln der Fall ist, eine östliche; wird die obere Nadel geschwächt, so mufs sich die freiwillige Ablenkung vergröfsern. Ich fand nun in der That, dafs, wenn ich eine Kerzenflamme dicht neben der Glocke des Multiplicators aufstellte, eine Drehung der Gleichgewichtsebene nach Ost um ungefähr 10° erfolgte, und deutete diese Erscheinung, dem Obigen gemäfs, auf die Schwächung der oberen Nadel durch die strahlende Wärme der Kerze. [2]

Später ward ich indefs auf einen Umstand aufmerksam, dessen Melloni nicht Erwähnung thut, und der hier von viel bedeutenderem

[1] Archives de l'Électricité. 1842. t. I. p. 657.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 1. Anm.

Einfluſs sein dürfte; nämlich auf die gerade in neuerer Zeit wieder mehrfach zur Sprache gekommene sogenannte Luftcirculation: Strömungen in der innerhalb der Glocke abgesperrten Luftmasse, welche gleichfalls durch Temperaturunterschiede bewirkt werden und begreiflich nicht unbeträchtliche mechanische Wirkungen auf so bewegliche Körper, wie ein astatisches Nadelpaar ist, ausüben können. Wird nämlich ein Punkt der Wand eines ringsbegränzten lufterfüllten Behälters irgend einer Art vorzugsweise erwärmt, so erhebt sich von ihm fortdauernd ein heiſser Luftstrom. Die dadurch entstehende Lücke muſs ausgefüllt werden; es werden also alle Lufttheilchen der unterhalb des Punktes gelegenen Gegend des Behälters eine Bewegung nach demselben hin erhalten, während im Gegentheil die an der Decke angelangten erhitzten Lufttheilchen sich nach allen Seiten auszubreiten streben werden: ein Vorgang, der nicht eher zur Ruhe kommen kann, ehe nicht die ganze eingeschlossene Luftmasse und die sie begränzenden Wandungen einerlei Temperatur angenommen haben. Zu den entgegengesetzten Bewegungen giebt ein erkälteter Punkt Anlaſs. Man übersieht leicht, wie auf diese Weise, wenn der erwärmte Punkt der Glocke eines Multiplicators, einer Drehwage, nicht gerade dem 90°-Punkte der Theilung entspricht, eine Bewegung des dem Punkte näheren Endes der Nadel nach demselben hin entstehen kann, falls die Nadel tiefer hängt als der Punkt; hängt sie höher, so entsteht das Scheinbild einer Abstoſsung von Seiten des Punktes. Man braucht nämlich nur vom diesem aus Strahlen nach allen Punkten des Umfanges der Glocke in einer durch den erwärmten Punkt und die Nadel gelegten Ebene zu ziehen, und dieselben nach Tangente, Loth und Radius zu zerlegen; so fallen für alle Strahlen, welche die dem Punkte nähere Hälfte der Nadel treffen, die tangentielle und die zu vernachlässigende lothrechte Componente im Verhältniſs zur radialen wegen der geringeren Neigung der Strahlen gröſser aus; es nimmt aber aufserdem noch die Geschwindigkeit der bewegten Luft in der Nähe des erwärmten Punktes zu. [1]

Obschon die Luftcirculation an der oben beschriebenen Erscheinung an meinem Multiplicator unstreitig einen bedeutenden Antheil hat,

[1] Die ältere Literatur über Luftströmungen findet sich leicht zusammen, wenn man den Aufsatz von Lenz in Poggendorff's Annalen. 1835. Bd. XXXV. S. 72* nachschlägt. Hinzuzufügen wäre, aus älterer Zeit, Hällström in Gilbert's Annalen u. s. w. 1805. Bd. XIX. S. 287;* — Walcker in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1825. Bd. IV. S. 307;* — aus neuerer Baily (und Forbes) in the Philosophical Magazine, 3. Series. 1842. vol. XXI. p. 117. 1843. vol. XXIII. p. 314.* — Lamont in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1844. Bd. LXI. S. 101.* — Langberg ebendas., 1845. Bd. LXVI. S. 8.*

so glaube ich doch noch behaupten zu dürfen, dafs die Erklärung, auf die ich zuerst gefallen war, nicht ganz aus der Luft gegriffen ist. Denn wenn jene Strömungen einzig und allein die Ursache davon wären, müfsten die Ablenkungen der Nadel, bei symmetrischen Stellungen der Kerze zu beiden Seiten des Nullpunktes, gleichfalls auf beiden Seiten einander entsprechen. Dem ist jedoch, so viel ich mich habe überzeugen können, nicht so; die Ablenkung des Systemes nach Osten, die mit der Vorstellung einer Schwächung der oberen Nadel stimmt, ist immer beträchtlicher als jene nach Westen, und dieser Unterschied erklärt sich nicht etwa, wie ich nun zu glauben geneigt war, aus der Anwesenheit der die Nadel tragenden Messingsäule in dem östlichen Quadranten, denn im Gegentheil diese müfste, die Erwärmung der Luft in ihrer nächsten Umgebung verzögernd, einen geringeren Andrang derselben aus der Ferne her gegen den erwärmten Punkt nothwendig machen.

Ich vermuthe, dafs die beiden eben erörterten Ursachen einer absichtlich herbeigeführten Störung in dem Gleichgewichtsstande der Nadel auch die hauptsächlichsten sein werden, von denen die fortwährenden freiwilligen Schwankungen desselben abhängen.

Wie dem auch sei, es zeigt sich, dafs diesem Uebelstande von Grund aus nur dadurch abgeholfen werden kann, dafs man die Richtkraft des Nadelpaares beträchtlich erhöht. Es versteht sich von selbst, dafs, wenn es gilt, messende Versuche vorzunehmen, also vor allem das Instrument zu graduiren, kein anderer Ausweg übrig bleibt; sei's dafs man das Verhältnifs der magnetischen Kräfte der Nadeln selbst ändert, sei's dafs man, wie Melloni jetzt zu thun pflegt,[1] durch Annäherung des Berichtigungsstabes diese Erhöhung der Richtkraft von aufsen bewirkt, und sich so für andere Fälle die Möglichkeit einer gröfseren Empfindlichkeit bei geringerer Sicherheit aufspart. Uns kommt es vor Allem darauf an, nicht auf die erstere dieser beiden Eigenschaften verzichten zu müssen, da, wie alsbald ausdrücklich zur Sprache kommen wird, von messenden Versuchen in diesem Gebiete vorläufig leider noch nirgends auch nur annäherungsweise die Rede ist. Wir haben uns also mit der Doppelnadel in ihrer Unstetigkeit so gut es geht zu behelfen. Sind die Windungen anziehungsfrei, so folgt man eben der Nadel wieder mit denselben bis sie einsteht; sind sie es nicht und man bedient sich des Kreuzer'schen Berichtigungsverfahrens, so wird dieselbe Art der Correction möglich sein. Hat man aber einen Berichtigungsstab aufgestellt, so zeigt sich glücklicherweise, wie auch

[1] Archives de l'Électricité. t. I. 1842. p. 665.

schon Melloni erkannt hat, [1] und leicht einzusehen ist, dafs eine geringe seitliche Bewegung desselben durchaus geeignet ist, die Nadel auf ihren früheren Stand zurückzuführen. Man verrückt nämlich den Stab, oder, wie Melloni thut, nur das der Nadel zugewandte Ende desselben in der Richtung, in der man wünscht, dafs sich das dem Stabe zugewandte Ende der Nadel verrücke. Es leuchtet ein, dafs die Gröfse der Bewegung des Stabes, welche einer bestimmten Veränderung in der Stellung der Nadel entspricht, um so beträchtlicher ausfallen wird, je weiter der Stab von dem Multiplicator entfernt ist. Die Säule, welche den Melloni'schen Berichtigungsstab trägt, kann man $3-4^{dm}$ von der Drehungsaxe der Nadeln entfernen und alsdann entspricht einer Verrückung der Nadel um einen Grad eine solche des Stabes um mehrere Millimeter. Um übrigens diese Verrückungen sowohl, als die Entfernung und Annäherung desselben mit gröfserer Sicherheit und Bequemlichkeit ausführen, auch frühere Stellungen mit Leichtigkeit wiederfinden zu können, ist, an meiner Vorrichtung, jener Säule mittelst zweier senkrecht übereinander verschiebbarer Holzschlitten, welche Millimetertheilungen tragen, eine künstliche Bewegung verliehen, wodurch ungleich zartere Stellungen verstattet sind, als in den meisten Fällen zur Berichtigung des Standes der Nadel erfordert werden.

Damit man aber auch im Laufe der Versuche selbst, wenn man Veränderungen im Stande der Nadel von nur wenigen Graden abzulesen hat, und mit dem Gesichte sich häufig der Glocke des Instrumentes nähern mufs, vor Täuschungen durch Luftströmungen geschützt sei, ist es zweckmäfsig, bei dergleichen Beobachtungen den Multiplicator nach der betreffenden Seite hin mit einem athermanen Stanniolpappe- oder Goldpapierschirm zu umgeben. Der Parallaxe beim Ablesen halber thut man wohl, ihm eine halbcirkelförmige Gestalt zu ertheilen, und einen hinreichend langen wagerechten Schlitz in demselben anzubringen, damit man stets, im Augenblick der Beobachtung, den Aufhängefaden die abgewandte Hälfte der Nadel decken lassen könne. Für eine ganze Klasse von Versuchen, die wir später kennen lernen werden, würde es übrigens, sowohl in dieser Rücksicht, als auch noch in einer anderen, am sichersten und bequemsten sein, das Bild der Theilung nebst der Nadel in einem über dem Instrumente aufgestellten etwa 45° gegen den Horizont geneigten Spiegel aus der Entfernung mittelst eines Fernrohres zu beobachten.

[1] Ibid., p. 663.

## 10. Intensitätencurve.

Die Ablenkungen am Multiplicator sind nicht den Stromstärken proportional. Höchstens innerhalb der ersten 20° kann diese Proportionalität annähernd angenommen werden. Das Gesetz, wodurch Ablenkungen und Stromstärken verknüpft sind, und welches, mit den Mafsen und der Gestalt der einzelnen Theile, von einem Instrumente zum andern wechselt, mit Hülfe der Rechnung für jedes einzelne zu bestimmen, ist unmöglich.[1] Um daher die relative Stärke von Strömen kennen zu lernen, ist es nöthig, sich entweder gewisser Arten von Galvanometern zu bedienen, an denen, theils vermöge ihres Baues, theils vermöge der Art der Ablesung, die Stromstärken eine bekannte Function der Ablenkungswinkel ausmachen; oder man mufs den Multiplicator empirisch graduiren. Instrumente der ersteren Art sind Ohm's Drehwage, Fechner's Galvanometer mit auf die Windungen senkrechter Nadel, deren Schwingungsdauer als Mafs des Stromes dient, Pouillet's Sinus- und Tangentenbussole, Becquerel's elektromagnetische Wage, Wilhelm Weber's bifilar aufgehängte Drahtrolle, endlich Poggendorff's von Gauss und Weber vervollkommnetes Magnetometer. Die letztere Vorrichtung, welche eine so erstaunliche Feinheit der Ablesung gestattet, und die Sinusbussole ausgeschlossen, möchten diese Rheometer schwerlich empfindlich genug für thierisch-elektrische Untersuchungen hergestellt werden können; es müfste demnach zur empirischen Graduirung des Multiplicators geschritten werden, wenn es überhaupt zunächst von Wichtigkeit wäre, auf diese Art die vergleichweise Stärke der Ströme genauer kennen zu lernen. Wegen der Ladung der Platinenden jedoch, mittelst welcher sie dem Multiplicator zugeführt werden, sind dieselben erstens im höchsten Grade unbeständig. Für's zweite könnte das Ziel von dergleichen Bestimmungen doch nur sein, das Verhältnifs zwischen den elektromotorischen Kräften zweier thierischen Stromesquellen zu erfahren; es wird sich aber zeigen, wie wenig für diesen Zweck durch die Kenntnifs der wirklichen Stromstärken im Multiplicatordraht gewonnen sein würde. Nicht nur dafs der Widerstand der einzelnen thierischen Elektromotore unter sich die gröfsten Unterschiede darbietet, ohne dafs man auch nur entfernterweise die Möglichkeit einer Reduction vor Augen sähe; diese Ströme sind auch abgeleitete Ströme und zwar der allerverwickeltesten Art.[2] Dann ist

[1] Vergl. Fechner's Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie u. s. w. S. 145.

[2] S. unten, 3. Abschn., Kap. III. §. III.

schon bemerkt worden, dafs man, wenn die Graduirung irgend Werth haben sollte, auf die gröfste Empfindlichkeit Verzicht leisten müfste, die man dem Instrumente zu geben vermag; mich hat aber bisher noch immer, wenigstens bei einer bestimmten und zwar gerade sehr wichtigen Art von Versuchen, nach gröfserer Empfindlichkeit verlangt.

Ich habe defshalb umgekehrt vorgezogen, auf die Graduirung zu verzichten. Wer jedoch dieselbe zu vollziehen wünscht, findet Auskunft über die verschiedenen hier üblichen Verfahrungsarten, unter denen die von Poggendorff angegebene wegen der Allgemeinheit der Grundsätze, auf denen sie beruht und ihrer Unabhängigkeit von anderen Hülfsvorrichtungen ausgezeichnet zu werden verdient, in der unten mitgetheilten Literatur. [1]

## 11. Absolute Empfindlichkeit des Multiplicators.

Sind bereits die Multiplicatoren zur Bestimmung der vergleichweisen Intensität der Ströme ohne weitere Vorbereitung gröfstentheils ungeeignete Vorrichtungen, so geben sie noch weit weniger ein absolutes Mafs derselben ab, was keiner weiteren Erörterung bedarf, wenn man sich erinnert, dafs es dergleichen von sehr verschiedener Empfindlichkeit giebt. Diese Unvollkommenheit ist keine geringere als die ersterwähnte; vielmehr liegt es am Tage, wie erst durch die Gewinnung einer an allen Orten und unter allen Umständen unveränderlichen Stromeinheit ein allgemeiner Zusammenhang in unsere Kenntnifs dieser Klasse natürlicher Erscheinungen gebracht werden könne.

Die Idee, galvanische Ströme nach absolutem Mafse zu messen, hat wohl Einer der ersten Nobili gefafst. Er wollte sie auf den Erdmagnetismus zurückführen, indem er einander möglichst gleiche Nadeln der vereinten Wirkung des Stromes und des Erdmagnetismus unter möglichst gleichen Umständen aussetzte. Die Nadeln sollten eine gewisse Nummer Aachener Nähnadeln sein, die bis zur Sättigung gestrichen eine gewisse Anzahl von Schwingungen in der Secunde vollziehen mufsten; sie wur-

[1] Die älteren Methoden finden sich in Poggendorff's Abhandlung in seinen Annalen u. s. w. 1842. Bd. LVI. S. 324.* Hinzuzufügen wäre Peltier in Annales de Chimie et de Physique. 1839. t. LXXI. p. 225.* — Petrina in Poggendorff's Annalen u. s. w. Bd. LVII. S. 111.* — Poggendorff ebendas., S. 609.* — Lenz ebendas., 1842. Bd. LIX. 214; — 1844. Bd. LXI. S. 18.* — Poggendorff ebendas. S. 50.* — Wheatstone in the Philosophical Transactions etc. For the year 1843. p. II. p. 327.* — Buff in Wöhler und Liebig's Annalen der Chemie und der Pharmacie. 1843. Bd. XLV. S. 128.* — Henrici in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1844. Bd. LXIII. S. 344.

den in ein Multiplicatorgewinde eingehängt, dessen Maſse und Einrichtung er auf das genaueste mittheilte, so daſs danach jeder in Stand gesetzt war, sich ein »vergleichbares Galvanometer« herzustellen und daran die Stärke eines Stromes in einer jedem andern Besitzer eines solchen zugänglichen Maſseinheit zu bestimmen. [1]

Dieser Vorschlag hat, wegen der groſsen Schwierigkeiten seiner Ausführung, nur wenig Eingang gefunden und ist im Lauf der Jahre durch andere Erfindungen in den Hintergrund gedrängt worden. Drei neue Constanten der Natur, auſser der Intensität des Erdmagnetismus an jedem Orte, die elektromotorische Kraft dieser oder jener hydro- oder thermoëlektrischen Combination, der Widerstand bestimmter Körper von bestimmten Maſsen, vornehmlich aber, seit FARADAY's Entdeckung der »festen elektrolytischen Action,« das elektrolytische Aequivalent der Ströme stehen uns jetzt zu Gebot, um den Zweck zu verwirklichen, den sich NOBILI's Bemühungen vorgesetzt hatten.

Am leichtesten und einfachsten bedient man sich des letzteren. Man hält, mittelst eines Stroms von beständiger Kraft, die Nadel unbeweglich auf einer bestimmten Stelle der Theilung, z. B. 10° fest. In den Kreis der Kette findet sich zugleich die Lösung eines Metallsalzes zwischen Elektroden aus demselben Metalle eingeschaltet. Der Strom zersetzt die Lösung, deren Metall sich galvanoplastisch auf der negativen Elektrode niederschlägt, während sich das gleiche Gewicht davon von der positiven auflöst. Hat man nun den Unterschied des Gewichts der Elektroden vor dem Versuche bestimmt, und bestimmt ihn abermals nach einer gewissen Dauer desselben, so ist die halbe Veränderung dieses Unterschiedes, auf eine gewisse beliebige Zeiteinheit zurückgeführt, das absolute Maſs eines Stromes, der die Nadel des Multiplicators in dieser beständigen Ablenkung zu halten vermag. Es kommt bei Bestimmungen der Art vornehmlich auf zwei Punkte an; auf die Wahl eines Salzes, dessen Metall sich gut galvanoplastisch niederschlägt und ein möglichst groſses Atomgewicht hat; zweitens darauf, daſs man den Versuch so lange als möglich währen lasse, um auch auf diese Weise die Menge des niedergeschlagenen Metalls nach Kräften zu vergröſsern.

Nach Herrn Professor POGGENDORFF's Rath bediente ich mich zu diesem Behufe der salpetersauren Silberoxydlösung zwischen chemisch reinen Silberelektroden. Ich fand indeſs Schwierigkeiten zu bekämpfen, deren Hinwegräumung mir nicht vollständig gelungen ist. Als Elektromotor wählte

[1] Annales de Chimie et de Physique. Février 1830. t. XLIII. p. 146. * — Memorie ed Osservazioni ec. vol. I. p. 105. * (Gez. vom 1. August 1829.)

ich eine Grove'sche Kette von der gröfseren unten §. 1. Kap. IV. dieses Abschnitts beschriebenen Art, deren Platinzelle mit der concentrirtesten rothen rauchenden Salpetersäure, die Zelle des frisch amalgamirten Zinkes mit Schwefelsäure zu Wasser wie 1 : 15 dem Volum nach angefüllt war. Natürlich war nicht daran zu denken, den Strom dieser Kette unmittelbar durch den Multiplicator und die Zersetzungszelle hindurchzuschicken; selbst bei Einschaltung sehr bedeutender Strecken des dünnsten Kupfer-, ja Neusilberdrahtes, schleuderte er die Nadel mit Blitzesschnelle an die Hemmung, und hielt sie nach einigen gewaltsamen Schwingungen unbeweglich an dieselbe gelehnt. Um einen Strom innerhalb der Grenzen der Empfindlichkeit des Instruments zu erhalten, war es nothwendig, einen kurzen und dicken Messingdraht als Nebenschliefsung zwischen den Enden der Kette anzubringen. In dem Multiplicatorkreise befand sich, aufser der Zersetzungszelle, noch ein Wheatstone'scher Rheostat mit Neusilberdraht von der Arbeit des Herrn Leonhard, dessen Güte ich seine Benutzung verdankte. Er war dazu da, um dem Strom die gewünschte Stärke zu ertheilen und ihn, wenn nach Verlauf einiger Stunden die Grove'sche Kette unbeständig zu werden begann, auf derselben zu erhalten. Die salpetersaure Silberoxydlösung war völlig gesättigt; zur Wägung der Silberelektroden diente meine ausnehmend feine und zuverlässige Wage von der Arbeit der Herren Böttcher und Halske, welche, bei einer so geringen Belastung (jede Platte wog im Mittel etwa ein halbes Gramm), ein Decimilligramm noch mit der gröfsten Sicherheit angiebt.

In einem ersten Versuche hielt ich die Nadel fünf Stunden lang beständig auf 45°. Es fand sich, nach Verlauf dieser Zeit, auf der negativen Elektrode eine zarte baumförmige Silberincrustation, allein ihr Gewicht fiel durchaus in die Grenze der Beobachtungsfehler. Es half mir nämlich wenig, so geringe Gröfsen mit Leichtigkeit wägen zu können; die viel bedenklichere Schwierigkeit war die, dafs wenn ich, wie der Versuch es mit sich brachte, die Silberplatten mehrmals in destillirtem Wasser wusch und dann ausglühte, ich niemals genau auf dasselbe Gewicht zurückkam, sondern Fehler von einem bis zwei Decimilligramm bald in dieser, bald in jener Richtung beging. In diesem Falle nun hatte in der That die positive Elektrode um ein Decimilligramm ab-, die negative um ebensoviel scheinbar zugenommen; nichts jedoch stand mir dafür, dafs ich hier wirklich den Verlust der einen, den Gewinn der andern durch die Elektrolyse gefunden hatte, sondern ich durfte keinen andern Schlufs ziehen, als dafs das auf fünf Stunden berechnete elektrochemische Silberaequivalent der 45°-Ablenkung meines Multiplicators innerhalb der Grenzen der Wasch- und Glüh-

fehler bei den verschiedenen Handhabungen falle, die der Versuch nothwendig macht.

Ein zweitesmal hielt ich die Nadel zehn Stunden lang auf 60°. Der galvanoplastische Niederschlag auf der negativen Platte war deutlicher, der Verlust der positiven nicht zu verkennen, allein auch diesmal hielt sich noch die ganze Schwankung des Unterschiedes innerhalb 2 — 3 Decimilligramm, und Gewinn und Verlust beider Platten stimmten so wenig untereinander überein, dafs ich auch diesen Versuch als verloren betrachten mufste.

Um auf diese Weise das Empfindlichkeitsaequivalent meines Multiplicators zu bestimmen, bedürfte es demnach einer noch ungleich längeren Dauer des Versuchs. Ich brauche nicht zu erinnern, dafs wenn ein zehnstündiges Beständighalten des Stromes schon sehr mühsam ist, alle Schwierigkeiten, die dasselbe mit sich bringt, bei Verlängerung der festgesetzten Zeit noch in raschem Mafse wachsen. Es ist also ein anderer Weg aufzusuchen, und der, den ich einzuschlagen gedenke, wenn ich diese Versuche, die ich hier liegen lassen mufste, wieder einmal aufnehme, ist folgender: Man schaltet einfach die Zersetzungszelle, statt in den Multiplicatorzweig der Nebenschliefsung, in den anderen von geringerem Widerstande ein, und bestimmt das Verhältnifs der Widerstände des ersteren und des letzteren die Zelle enthaltenden Zweiges. So kann man in beliebig kurzer Zeit ein beliebig grofses Gewicht niedergeschlagenen Stromaequivalents erhalten, welches man nur mit dem umgekehrten Verhältnifs der Widerstände der beiden Zweige zu multipliciren braucht, um das gesuchte Empfindlichkeitsaequivalent des Multiplicators zu erhalten.

## 12. Hemmungen.

Um das Durchschlagen der Nadeln zu verhüten, was, an meinem Multiplicator, sogar durch thierisch-elektrische Ströme vorkommen könnte, namentlich, wenn sie mit gleichgerichteten Ladungen von einem vorher dagewesenen entgegengesetzt gerichteten Strome in Verbindung treten, und Drehungserscheinungen am Faden, wie auch Demagnetisation beim Durchgang durch die der Strömungsrichtung entgegengesetzte auf die Windungen senkrechte Lage nach sich ziehen kann, ist es nothwendig, an den 90°-Punkten der Theilung eine Vorrichtung anzubringen, welche das weitere Fortschreiten der Nadel hemmt, und ihr zum Anschlag dient. Gewöhnlich nimmt man dazu ein Paar Knöpfchen, welche, an den erwähnten Punkten aufgesetzt, zugleich die Theilung befestigen helfen. Ich habe aber, weil heftiges Anschlagen der Nadeln

gegen dieselben theils zu starke Schwankungen hervorbringt, theils dem Magnetismus nachtheilig werden kann, den Gebrauch zweier mehrdoppelten Kokonfäden vorgezogen, welche von dem Aufhängepunkt der Nadel aus durch kleine in der Theilung angebrachte Oeffnungen zu beiden Seiten des Rahmens herabhängen, und unterhalb des Spielraums der unteren Nadel mit kleinen unmagnetischen Gewichten, z. B. einem Stück Platindraht, beschwert sind. Die Nadel fängt sich dagegen auf eine dem Zweck höchst angemessene Weise. Sie bieten noch aufserdem den Vortheil dar, dafs man, beim Streichen der Nadeln, wenn man zufällig ihren Unterschied umgekehrt haben sollte, dieselben in dem Rahmen leicht, ohne Entfernung der Hemmungen, durch bloſses Emporziehen der Fäden, umwenden kann.

### 13. Andere Multiplicatoren.

Der Multiplicator ist bekanntlich so eingerichtet, dafs man nach Belieben sich der einfachen Dicke und ganzen Länge des Drahts, ebenderselben und der halben Länge, oder auch der letzteren bei doppelter Dicke bedienen kann. Die letztere Combination, bei welcher der Widerstand viermal kleiner ist, als bei der ersteren, wird hier überflüssig, da, wie wir bereits wissen, der Widerstand des Multiplicators gegen den der feuchten Kettentheile annähernd verschwindet. Die zweite Anordnung hingegen kömmt öfters in Gebrauch, wenn man nämlich Vergröfserung oder Verkleinerung von Ausschlägen wahrzunehmen wünscht, welche, bei Anwendung der ganzen Länge, in allzuhohe Breiten der Theilung hinaufreichen, um noch einen sicheren Vergleich zu gestatten.

Ich habe indefs im Laufe meiner Untersuchungen mehrmals noch andere Multiplicatoren anwenden müssen, theils weil der bereits beschriebene für die vorliegenden Zwecke nicht pafste, theils weil ich zweier dergleichen Vorrichtungen auf einmal bedurfte.

Der eine derselben, von W. Hirschmann's Arbeit, dem Königlichen Anatomischen Museum gehörig, mir durch die Güte des Herrn Geheimenrathes Joh. Müller zu Gebote gestellt, und in der Folge als »Museumsmultiplicator« bezeichnet, hat einen 888" langen Draht von derselben Stärke wie der des oben beschriebenen Instruments, 4100 Windungen, und wurde bald mit einem Paar schwerer rhombischer Nadeln, bald mit dem leichteren der oben S. 165 beschriebenen astatischen Spiele versehen. Auch hier fanden bedeutende Ablenkungserscheinungen durch anziehende Kräfte der Drahtmassen statt, und wurden beim Gebrauch ganz auf die nämliche Weise, wie an meinem Multiplicator, berichtigt.

Als »Multiplicator mit kurzem Draht« wird endlich in der Folge ein mehrmals benutztes ziemlich unvollkommenes Instrument bezeichnet werden, dessen Draht, von 38$^{m}$ Länge und 0.24$^{mm}$ Durchmesser, ein schweres astatisches Paar von cylindrischen Nadeln in nur 224 Windungen umkreist.

---

## §. III.

## Darstellung des Verfahrens, thierische Theile mittelst des Multiplicators auf Stromentwickelung zu untersuchen.

Wenn die Vorbereitung des Multiplicators zu den thierisch-elektrischen Versuchen bereits nicht wenig Geduld in Anspruch nimmt, so treten die Schwierigkeiten derselben doch dadurch, dafs sie, einmal überwunden, bei gutem Material der Nadeln und vorsichtiger Behandlung derselben, nicht so leicht wiederkehren, in den Hintergrund gegen diejenigen, welche jetzt erörtert werden sollen. Diese sind von der Art, dafs der Beobachter jeden Augenblick auf erneute Angriffe von Seiten derselben gefafst sein mufs; Angriffe, welche meist um so schwerer zurückzuschlagen sind, als die Ursachen, aus denen sie hervorgehen, gröfstentheils völlig unbekannt bleiben. Vorzüglich an diesen Schwierigkeiten scheiterten, mit wenigen Ausnahmen, jene zahlreichen Bestrebungen, elektrische Strömungen an thierischen Körpern zu entdecken. Ihre Erscheinungsweise ist um so gefährlicher, als es sich nicht mehr, wie beim Multiplicator, darum handelt, ob überhaupt etwas wahrgenommen werden könne, oder nicht, sondern darum, ob das, was man wahrnimmt, in der That der ächte gesuchte Gegenstand der Beobachtung, oder ein durch die angewandten Vorrichtungen vorgespiegeltes sinnloses Blendwerk sei. In nicht wenigen Fällen endlich sind sie wirklich unüberwindlich; um so mehr halte ich es für meine Pflicht, diejenigen, die sich mit der Prüfung und Fortführung meiner Versuche befassen wollen, in die zahlreichen kleinen Kunstgriffe einzuweihen, welche eine mehrjährige Erfahrung mir an die Hand gegeben hat, und ohne deren vorläufige Kenntnifs sie hier kaum anders als mit einem beträchtlichen Aufwand an Zeit und Mühe durchdringen möchten.

Es handelt sich um die dem Anschein nach so äufserst einfache Aufgabe, die thierischen Theile, welche auf Stromentwickelung zu untersuchen sind, dergestalt in den Multiplicatorkreis einzuführen, dafs dabei keine anderen Stromeswirkungen zum Vorschein kommen, als die zu beobachtenden aus den thierischen Theilen selbst entsprungenen; so

folglich, dafs an der Grenze dieser und der Multiplicatorenden keine, oder an beiden Enden einander für ein Instrument von bestimmter Empfindlichkeit völlig aufhebende elektromotorische Wirkungen entstehen.

Worin die erste Schwierigkeit begründet sei, welche sich diesem Vorhaben entgegenstellt, wissen wir bereits aus den Andeutungen, zu denen uns die Art und Weise Anlafs gegeben hat, wie VALENTIN dasselbe zu verwirklichen bestrebt war (S. oben S. 141). Es giebt, von dem Standpunkte des Elektrikers und der Oberflächenkunde aus gesprochen, nicht zwei vollkommen gleichartige Metallstücke; die Erfahrung lehrt, dafs noch empfindlichere Prüfungsmittel stets da noch Ungleichartigkeiten nachzuweisen im Stande waren, wo sonst bereits Alles für die wirkliche Erfüllung dieser Bedingung entschieden zu haben schien.

Durch das bei Gelegenheit der VALENTIN'schen Verfahrungsarten Gesagte in Stand gesetzt, schreiten wir zwar jetzt, ohne uns bei den selbst für die gewöhnlichen elektrochemischen Versuche so gut wie unbrauchbaren positiveren Metallen aufzuhalten, alsbald auf das negativste unter den gebräuchlichen Metallen, das Platin, zu,[1] um es als Multiplicatorende zu gebrauchen. Keinesweges ist indefs dasselbe, nach den übereinstimmenden Erfahrungen mehrerer Forscher, von den bezeichneten Uebelständen völlig frei. Zwei Platinplatten als Multiplicatorenden zuerst der Benetzung mit einer beliebigen, noch so gleichartigen, und noch so wenig eines chemischen Angriffes auf dieselben fähigen Flüssigkeit ausgesetzt, erzeugen an empfindlichen Multiplicatoren stets einen mehr oder minder kräftigen Ausschlag. Hieraus ergiebt sich unmittelbar und als oberster Grundsatz, dafs die Platinenden niemals frisch und unbenetzt mit den feuchten Theilen in Berührung zu bringen seien, da man alsdann nie wissen würde, ob nicht die beobachteten Wirkungen ganz oder zum Theil den Ungleichartigkeiten der metallischen Oberflächen ihren Ursprung verdanken. Es ist vielmehr unbedingt nothwendig, dafs man sich zuerst von der Gleichartigkeit derselben unmittelbar durch den Versuch überzeugen könne. Dies vermag nur dadurch zu geschehen, dafs man die Platten vorher in einer gleichartigen Flüssigkeit auf selbständige Stromentwickelung prüft.

[1] Vergl. FECHNER's schon mehrfach angeführten Aufsatz: »Ueber die BECQUEREL'sche Kette und die Elektricitäts-Erregung durch gegenseitige Berührung von Flüssigkeiten im Allgemeinen«, in POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVIII. S. 1 und S. 225, dessen Studium überhaupt dem Physiologen, der sich genauer über manche hier obwaltende Punkte unterrichten will, gar sehr zu empfehlen ist, da die thierisch-elektrischen Versuche, ihren physikalischen Bedingungen nach, durchaus mit denen über Ketten aus mehreren flüssigen Leitern übereinkommen, wie dies später noch ausführlicher erwähnt werden wird.

Ist man nun glücklich genug, über gleichartige metallische Multiplicatorenden zu gebieten, wozu sogleich der Weg angegeben werden soll, so kommt es noch darauf an, dafs man die thierischen Theile so zwischen dieselben zu bringen wisse, dafs man sicher sei, dadurch keine neuen Oberflächenveränderungen hervorzurufen, von denen stets ungewifs bleiben würde, ob sie beide Enden in gleichem Mafse betroffen haben oder nicht. Hiezu die Mittel ausfindig zu machen, ist die zweite Aufgabe, welche wir in diesem Paragraphen zu lösen haben. Drittens bedarf es alsdann noch der mechanischen Verwirklichung des theoretisch vorgeschriebenen Weges; ein Punkt, wo sich die besonderen, unserem Gegenstande eigenthümlichen Schwierigkeiten entfalten, welche aus den Formen und Aggregatzuständen, der Zartheit, Kleinheit und Vergänglichkeit der thierischen Theile hervorgehen.

## 1. Von der Art und Weise, sich gleichartige Platinplatten zu verschaffen.

Beschäftigen wir uns zunächst mit den Mitteln, die Gleichartigkeit der Platinplatten in einer beliebigen Flüssigkeit zu Stande zu bringen. Die Erfahrung lehrt, dafs es hiezu nur einen, zwar langwierigen, aber zuverlässigen Weg giebt. Er ist oben (S. 141) bereits angedeutet worden und besteht darin, die Platten zur Kette geschlossen eben so lange Zeit in der Flüssigkeit stehen zu lassen, bis man sie hinreichend gleichartig vorfindet, d. h. bis die Wirkungen, die sie etwa noch ausüben, so klein geworden sind, dafs sie gegen die zu beobachtenden verschwindend erscheinen.[1] Läfst man die Kette wieder geöffnet stehen, so kehren die Ungleichartigkeiten, wenngleich weniger stark, zurück; woraus sich ergeben dürfte, dafs ihre Aufhebung durch das Geschlossenhalten zum Theil von den Ladungen herrührt, die sich auf den Platten entwickeln und im entgegengesetzten Sinne wirksam sind. Auf keinen Fall genügt es, wie man sieht, ein erstes Mal die Platten durch Schliefsen gleichartig gemacht zu haben, sondern sie müssen fortwährend, wenn man fortgesetzt arbeitet, Tag und Nacht, wie auch während des kürzesten Zwischenraumes zwischen zweien Versuchen, geschlossen gehalten werden. Einen ferneren Grund für das Letztere werden wir später kennen lernen.

Es giebt einige Kunstgriffe, mit deren Hülfe es gelingt, die zur Abgleichung der Platten nothwendige Zeit beträchtlich abzukürzen, und

[1] Vergl. Fechner a. a. O., S. 8.* — Matteucci in Archives de l'Électricité. 1842. t. II. p. 420.* — Traité, etc. p. 41.*

auch sonst diesen Erfolg zu sichern und zu unterstützen. Es ist erstens einleuchtend, dafs man um so besser fahren werde, je gleichartiger von vorn herein die metallischen Oberflächen bei ihrer Benetzung waren. Dies erreicht man, nach meinen Erfahrungen, auf folgende Weise am vollständigsten. Man wäscht die Platten nacheinander mit einem Gemisch von Alkohol und Aether, mit Kalihydratlösung und mit Königswasser. Da man dieselben, vom Beginn der Vorrichtung an, auch mit noch so reinen Fingern höchstens am Rande, und auch hier nur trocken anfassen darf, so geschehen die Waschungen am besten mittelst eines kleinen Bausches von Filtrirpapier auf dem Boden eines flachen geneigt gehaltenen Gefäfses, z. B. eines Jodirnapfes. Um die Platten, mit Hülfe eines Glasstäbchens, umzuwenden, läfst man sie, indem man dem Gefäfse wieder die wagerechte Stellung ertheilt, von Neuem mit Flüssigkeit überströmen. Zwischen je zwei Waschungen und am Schlusse derselben werden sie mit destillirtem Wasser reichlich abgespühlt und zwischen zusammengelegtem Fliefspapier oder den Falten eines reinen Linnentuches getrocknet. Jetzt kann man sicher sein, die Oberflächen hinreichend von allen fremden Verunreinigungen befreit zu haben. Es bleibt nur übrig, die Platten ungefähr eine halbe Minute lang über der Weingeistlampe mit doppeltem Luftzuge sorgfältig und auf allen Punkten gleichmäfsig auszuglühen, und sie, wenn sie dünn genug sind, um während dieser verschiedenen Handhabungen Verbiegungen zu erleiden, zwischen reinem Papiere mittelst eines cylindrischen Körpers, eines Glasrohrs u. d. m. glattzuwalzen. Werden sie dann der ersten Benetzung sogar in besserleitenden Flüssigkeiten, z. B. gesättigter Kochsalzlösung, ausgesetzt, so wird man meistens nur eine sehr geringe Wirkung erfolgen, und diese bald völlig Null werden sehen. Viel glaube ich dabei auf das Glühen geben zu müssen, wodurch namentlich anhaftende Gase, wie auch die letzten Spuren der zur Reinigung angewandten flüchtigen Säuren gründlich entfernt werden dürften. Von der Anwendung von Putzpulvern, auf die man hier meistens zuerst verfällt, kann ich nach meinen Erfahrungen nichts halten. Fechner rieb seine Platten erst nafs, dann trocken mit Sandpapier ab.[1] Durchaus verwerflich ist unstreitig der Gebrauch des eisenhaltigen Schmirgelpapiers, dessen sich Valentin bediente, um eine Platinplatte zu putzen, die zu dem Reizversuch ohne Kettenverband bestimmt war.[2]

[1] A. a. O. S. 8. — Vergl. auch Poggendorff's Annalen u. s. w. 1837. Bd. XLII. p. 506.

[2] R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Artikel »Galvanismus«. Bd. I. S. 536. 1.

Von Fechner schreibt sich das Gesetz her, dafs die Wirkung einer bestimmten Kette von unbeständiger Kraft um so geschwinder abnimmt, je kleiner, unter sonst gleichen Umständen, die Länge des festen oder flüssigen Leiters ist, durch welchen man sie geschlossen hält.[1] Dieser Erfolg rührt wohl daher, dafs die Stärke der Ladungen und die Geschwindigkeit, mit der sie ihre volle Entwickelung erlangen, unterhalb einer gewissen Gränze von der Stromstärke abhängig sind. Gewifs darf man mit grofser Wahrscheinlichkeit die Gültigkeit desselben Gesetzes von den hier in Rede stehenden Wirkungen unbekannter Ungleichartigkeiten erwarten. Was den metallischen Theil der Leitung betrifft, durch den die gleichartig zu machenden Platten in der Flüssigkeit zur Kette verbunden sind, so wird man in den hier vorkommenden Fällen durch die Natur dieser Flüssigkeit meist berechtigt sein, die Mafse desselben zu übersehen. Um so wünschenswerther mufs es erscheinen, die feuchte Strecke zwischen beiden Multiplicatorenden möglichst abzukürzen und zu verdicken. Obschon ich in Betreff dieses Umstandes nicht im Besitze ganz bestimmter, in Zahlenwerthen auszusprechender Erfahrungen bin, glaube ich mich doch nicht selten von seiner Bedeutung überzeugt zu haben.

Dasselbe gilt von einem besonderen Kunstgriffe, auf den ich durch Zufall geführt wurde, und der zum Zweck hat, dafs man leichter Herr über hartnäckige Ungleichartigkeiten der Platten werden könne. Zu einer Zeit, wo mir dieselben noch viel zu schaffen machten, bemerkte ich einmal, als ich, um die eingetauchte Oberfläche zu vergröfsern, jedes Multiplicatorende mit zweien statt mit einer Platinplatte versehen hatte, dafs die Verwischung der Ungleichartigkeiten auf diese Weise sehr viel schneller und sicherer vor sich zu gehen schien. Ich habe seitdem diese Beobachtung erneuert, und glaube auch den Grund davon erkannt zu haben, so dafs ich, mit Berücksichtigung desselben, schon häufig im Stande gewesen bin, mich der Vortheile, die jene Anordnung gewährt, mit grofsem Nutzen zu bedienen.

Von vier Platten, welche zu zweien in eine gleichartige Flüssigkeit tauchen, sollen beliebige zwei, $a$, $a'$, sich negativ gegen die beiden anderen, $b$, $b'$, verhalten. Werden sie in der Weise, wie sie hier so eben aufgeführt wurden, combinirt, als Multiplicatorenden einander gegenübergestellt, so läfst sich durchaus nicht einsehen, inwiefern eine verschiedene Wirkung von der eintreten könnte, welche man beobachten würde, wenn $a$, $a'$; $b$, $b'$ beziehlich zu einer einzigen Platte ver-

[1] Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie u. s. w. S. 284. — Fechner, Mafsbestimmungen über die galvanische Kette. Leipzig 1831. 4°. S. 244.

schmolzen wären. Ganz anders verhält es sich, wenn man sich denkt, dafs der Zufall die ungleichartigen Elemente so durcheinanderwürfelt (Taf. I. Fig. 5), dafs das eine Ende aus $a$, $b$, das andere aus $a'$, $b'$ zusammengesetzt ist. Um zu verstehen, was die Folge dieser Anordnung sein wird, fassen wir zunächst nur die drei Platten $a$; $b$, $b'$ ins Auge, indem wir uns die vierte, negative, vor der Hand von den übrigen noch völlig abgesondert denken. Der Strom, der durch die Ungleichartigkeit von $a$, und $b$, $b'$ gesetzt ist, wird alsdann folgende Wege einschlagen. Bei $a$ verläfst er die Flüssigkeit und spaltet sich bei $c$ in zwei Zweige, deren einer sogleich bei $b$ wieder in die Flüssigkeit eintritt und auf dem kürzesten Wege nach $a$ zurückkehrt, deren anderer hingegen den Multiplicatordraht $M$ durchkreist, bei $b'$ den feuchten Leiter erreicht und seine ganze Länge zurückzulegen hat, ehe er wieder an seinen Ausgangspunkt gelangt. Diese beiden Zweige verhalten sich, ihrer Stärke nach, zu einander umgekehrt wie die Widerstände ihrer Bahnen. Es folgt, dafs der letztere sehr viel schwächer sein wird, als der erstere; denn, abgesehen von dem Widerstande des Multiplicatordrahtes, der sich ihm entgegenstellt, hat er die ganze Flüssigkeitssäule von $b'$ nach $a$ zu überwinden, während sein Nebenzweig nur den fast beliebig kleinen Zwischenraum zwischen $b$ und $a$ zu durchmessen braucht. Stellen wir jetzt die Verbindung der vierten Platte $a'$ mit den ersteren drei wieder her und lassen die elektromotorischen Kräfte zwischen ihr und $b$, $b'$ auch in Wirksamkeit treten, so sieht man, dafs sich im Multiplicatordraht ein zweiter, unter sonst gleichen Umständen vollkommen gleicher, aber entgegengesetzter Stromarm kundgeben wird. Diese gleichen und entgegengesetzten Stromarme heben einander auf, und so ist deutlich, dafs $a$ und $b$, $a'$ und $b'$ beziehlich aus den ungleichartigsten Metallen gefertigt sein könnten, ohne dafs sich, in der Vorstellung, eine Wirkung an der Nadel zeigen dürfte. Eine solche vollkommene Aufhebung der beiden Stromarme im Multiplicatordraht setzt indessen eine Gleichheit der elektromotorischen Kräfte und der Widerstände der verschiedenen Kettentheile voraus, die in Wirklichkeit für ein empfindliches Instrument auch mit der gröfsten Sorgfalt kaum zu erreichen sein möchte, geschweige dafs der Zufall sie mit Hülfe solcher Ungleichartigkeiten, wie sie ihm hier zu Gebote stehen, in Ausführung bringen könnte. Nichtsdestoweniger wird auf alle Fälle eine geringere Wirkung zu Stande kommen, als wenn $a$, $a'$; $b$, $b'$ einander gegenüber, gleichviel ob als Paar oder zu einer einzigen Platte vereint ständen, und dem obigen Fechner'schen Gesetze nach, wird dieselbe schneller abnehmen müssen, weil, wegen der kürzeren Strecke zwischen $a$ und $b$, $a'$ und $b'$ im Vergleich zu der zwischen $a$

und $b'$, $a'$ und $b$, die negativen Platten mit Hülfe der Ladungen schneller positiv werden. Dies gilt auch dann noch, wenn von allen vier Platten nur eine mit den übrigen ungleichartig ist, der Strömungsvorgang also mit dem in dem ersterörterten Falle übereinkommt.

Ich kann, wie gesagt, kein numerisch bestimmtes Beispiel von der Wirkung dieser Anordnung anführen, was aus vielen Gründen kaum ausführbar sein würde; ganz unzweifelhaft aber ist, dafs in Fällen, wo die beiden Platten des einen Paars auf die nämliche Weise, z. B. mit alkalisch reagirendem Blute, verunreiniget worden waren, die dadurch entstandene Ungleichartigkeit zum Schweigen gebracht werden konnte, indem ich dieselben absichtlich in der eben bezeichneten Weise vertauschte. In der That habe ich mich seitdem stets doppelter Multiplicatorenden bedient, wozu, wenn es dem Gesagten nach, bei der Aufmerksamkeit, die auch dem kleinsten die Gleichartigkeit der Platten möglicherweise befördernden Umstand gebührt, noch nöthig sein sollte, übrigens schon die Wahrnehmung auffordert, dafs, während man bis zu einer gewissen Grenze die Platinenden nicht grofs genug nehmen kann, Platten von mehr als $25-30^{mm}$ Breite bei $65-75^{mm}$ Länge sich nicht mehr gut gleichmäfsig ausglühen lassen.

## 2. Von der Art und Weise, die thierischen Theile mit den metallischen Multiplicatorenden in Verbindung zu bringen.

Wir sind jetzt im Besitze gleichartiger metallischer Multiplicatorenden. Es handelt sich darum, sie mit den thierischen Theilen in Verbindung zu bringen, ohne dafs sie ihre Gleichartigkeit einbüfsen. Es bieten sich zwei Methoden dar. Entweder, und dies scheint das einfachere und natürlichere, wir heben die Platten aus der Flüssigkeit heraus, in der sie gleichartig geworden und auf diesen Zustand geprüft worden sind, und legen sie an die thierischen Theile an, oder, wir lassen sie in ihrer Flüssigkeit stehen, vertheilen diese jedoch von vorn herein in zwei gesonderte, durch einen feuchten, mit der Flüssigkeit gleichartigen Leiter verbundene Gefäfse, in deren jedes ein Multiplicatorende taucht, entfernen diesen Leiter im Augenblick des Versuches und bringen die thierischen Theile an seine Statt. Das letztere Verfahren ist, trotz seiner anscheinend gröfseren Verwickelung, das bei weitem vorzüglichere, ja, über gewisse Grenzen hinaus, sogar das einzig anwendbare. Folgende Punkte kommen bei der vergleichenden Beurtheilung beider Methoden in Betracht.

(1) Die Platten sind erstens nur so lange mit Gewifsheit als gleichartig zu betrachten, als sie in der Flüssigkeit, in der sie es ge-

worden sind, völlig unverrückt stehen bleiben. Hebt man z. B. eine Platte in die Höhe und taucht sie wieder ein, oder schwenkt man die Flüssigkeit so, dafs sie vorher unbenetzte Punkte der metallischen Oberflächen bespühlt, so entsteht auf der Stelle ein Strom, der die Richtung von der bewegten oder frisch bespühlten Platte zu der ungestört gebliebenen hat. Dies sind die bekannten Ströme wegen ungleichzeitigen Eintauchens, von denen früher bereits die Rede war (S. 119. 146), und deren Ursache, so vielen darüber geäufserten Vermuthungen zum Trotz, immer noch im Dunklen zu liegen scheint. [1] Hebt man beide Platten gleichzeitig empor, und senkt sie ebenso gleichzeitig wieder ein, so zeigt sich kein Strom. Dies hat bereits bei freiester Handhabung der Metalle in einem Gefäfse mit Flüssigkeit seine nicht geringen Schwierigkeiten. Man kann sich leicht denken, wie dieselben wachsen, wenn es darauf ankommt, die Platten, möglicherweise in verschiedener Richtung und Lage, mittelst unsymmetrischer Bewegungen der beiden Hände, an zarte, kleine, vielleicht gar lebhaft bewegte thierische Theile anzulegen. Obwohl die Ströme wegen ungleichzeitigen Eintauchens, wie man sich dem negativen Pole der galvanischen Spannungsreihe nähert, und schwächer erregende Flüssigkeiten als feuchte Leiter anwendet, aufserordentlich an Stärke abnehmen, bleiben sie doch immer grofs genug, um nicht selten die Wahrnehmung aller Erfolge zu trüben, wo nicht völlig unmöglich zu machen. Bei dem zweiten Verfahren fällt hingegen dieser Uebelstand vollständig weg. Allerdings ist noch zu berücksichtigen, dafs durch das Eintauchen der thierischen Theile ein Anwogen der Flüssigkeit gegen die Platten fast nothwendig bewirkt werden mufs, demzufolge auch Ströme wegen ungleichzeitigen Eintauchens entstehen können. Wir werden jedoch die Mittel kennen lernen, diesem Mangel auf das bequemste und sicherste abzuhelfen.

(2) Ferner wissen wir bereits von früher her (S. oben S. 135),

[1] Vergl. Fechner's Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie u. s. w. Kap. XXXVIII. S. 466.* und Pfaff in Gehler's physikalischem Wörterbuche Th. IV. 2te Abth. 1828. S. 698.* — Hier steht die ältere Literatur; hinzuzufügen ist Becquerel in seinem Traité etc. t. II. 1834. p. 74.* — C. J. B. Karsten, Sendschreiben an v. Humboldt über Contactelektricität. 1836. S. 39.* — Henrici in seiner Schrift: Ueber die Elektricität der galvanischen Kette. Göttingen 1840. S. 197. XIV. 1.* — Poggendorff in seinen Annalen u. s. w. 1840. Bd. XLIX. S. 41. Anm.* — H. Schröder ebendas., 1841. Bd. LIV. S. 57.* — Edmond Becquerel in Archives de l'Électricité. t. I. 1841. p. 283. Note.* — Henrici in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1842. Bd. LV. S. 258.* — Faraday, Experimental Researches in Electricity (Collected from the Philosophical Transactions) vol. II. London 1844. Series XVII. No. 1918. p. 60.* — Matteucci, Traité etc. p. 37. 38.*

dafs an der Oberfläche der thierischen Theile vorhandene Ungleichartigkeiten stärker elektromotorisch wirken werden, wenn sie unmittelbar mit den metallischen Multiplicatorenden in Berührung kommen, als wenn sie durch eine Schicht gleichartiger Flüssigkeit davon getrennt sind.

(3) Sodann wachsen die Widerstände an der Grenze der festen und flüssigen Leiter bekanntlich im umgekehrten Verhältnifs der Gröfse der benetzten Oberflächen. Vorzüglich bei Platin sind diese Widerstände grofs. Unser Bestreben mufs also dahin gehen, die benetzten Oberflächen möglichst auszudehnen. Dieser Forderung kann mittelst des ersten Verfahrens indefs nicht Genüge geleistet werden, denn die Folge wird lehren, dafs die thierischen Theile, mit wenigen unwesentlichen Ausnahmen, stets dem Frosch entnommen, also nur von sehr geringer Gröfse sind. Bei der Berührung z. B. des Stumpfes eines durchschnittenen Nervus ischiadicus vom Frosch würde die benetzte Oberfläche nur einen sehr kleinen Bruchtheil von einem Quadratmillimeter ausmachen. Bei der zweiten Methode fällt diese Beschränkung fort. Man kann in den Gefäfsen, mit deren Flüssigkeit man die thierischen Theile in Berührung bringt, eine Metalloberfläche von beliebiger Ausdehnung entfalten. Was den Widerstand der Flüssigkeit selbst betrifft, so ist seine Einschaltung kein namhaftes Hindernifs. Erstens kann man sich eines solchen feuchten Leiters bedienen, dessen eigenthümliches Leitungsvermögen, bei sonst gleichen Mafsverhältnissen, das der thierischen Theile um Vieles übertrifft; fürs zweite steht es frei, durch Verkürzung und Verdickung der Flüssigkeitsstrecke zwischen denselben und den metallischen Multiplicatorenden den Widerstand dieser Strecke gegen den der Nerven, Muskeln u. s. w. selbst nahezu verschwinden zu machen. Zwar ist bei den thierisch-elektrischen Versuchen von genauer Vergleichbarkeit der Ergebnisse auch nicht entfernterweise die Rede, indessen ist es doch immer wünschenswerth, möglichst viele Veränderliche aus den Bedingungen, unter denen man arbeitet, zu verbannen, was bei beständiger Oberfläche in dem zweiten Verfahren geschieht, während beim ersteren die Gröfse derselben meistens von der Gröfse des thierischen Theiles abhängen wird, an den sie angelegt wird.

(4) Dafs, bei der Methode des Anlegens, auf die Vortheile, die aus der Anwendung doppelter Multiplicatorenden erwachsen mögen, Verzicht geleistet werden mufs, will ich nur nebenher erwähnen. Von gröfserer Bedeutung ist die folgende Bemerkung. Wenn, bei dem anderen Verfahren, die Theile mit den Flüssigkeiten der Gefäfse in Berührung gebracht sind, ist der Versuch in Ordnung, und der Beobachter kann sich entweder ruhig der Wahrnehmung des Erfolges, oder der

Handhabung von Hülfsvorrichtungen hingeben. Dies ist nun gerade die Bedingung einer Menge der wichtigsten Versuche, bei denen es nämlich darauf ankommt, den Einfluſs zu erfahren, den gewisse, nachmals eingeführte Umstände, auf die Gröſse der thierisch-elektrischen Erscheinungen äuſsern. Bei der Methode durch Anlegen entgehen Einem hier die mannigfaltigsten Vortheile. Will man eine beständige Ablenkung beobachten, so muſs man die Multiplicatorenden so lange still an den thierischen Theilen halten, als die Stromeswirkung dauern soll, d. h. unter Umständen eine ziemlich lange Reihe von Minuten. Dabei erregt aber, wohlbemerkt, die geringste Verschiebung, vorzüglich der negativen Platte, die bekannten Strömungen wegen Erschütterung der polarisirten Elektroden. [1] Abgesehen davon ist man mit beiden Händen an den Versuch gebunden; um eine neue Bedingung ins Werk zu setzen, bedarf es eines Gehülfen, ja zur bloſsen Beobachtung während einer beständigen Ablenkung möchte es zweckmäſsig sein, sich eines solchen zu bedienen, da man bekanntlich sehr schwer die Hände ganz unverrückt halten kann, ohne hinzusehen, geschweige, wenn man anderwärts genau beobachten will.

Man sieht demnach, daſs die Methode durch Anlegen der Methode durch Eintauchen in vielen Punkten nachsteht, dagegen keinen bekannten Vortheil vor derselben darbietet. Nur in den Fällen, die aber bis jetzt keinesweges die lehrreichsten gewesen sind, und beinahe stets mit Nutzen auf anderem Wege werden ersetzt werden können, wo man an gröſseren Thieren, vorzüglich lebendigen und warmblütigen, die elektrischen Zustände von Organen in ihrer natürlichen Lage erforschen wollte, und, so weit ich mir, ohne eigene Erfahrungen, ein Urtheil darüber zutrauen darf, bei den elektromotorischen Fischen, möchte das Verfahren des Anlegens nicht zu entbehren sein. Bei den letzteren übrigens dürften, wegen der Stärke der zu beobachtenden Wirkungen, die diesem Verfahren zugeschriebenen Uebelstände verschwindend ausfallen. Es ist dasselbe denn auch hier allgemein in Gebrauch gezogen und, wie es scheint, zweckdienlich befunden worden. [2]

[1] Fechner, Maſsbestimmungen über die galvanische Kette. Leipzig 1831. 4°. S. 249. 9.* — Faraday, Experimental Researches in Electricity (Collected from the Philosophical Transactions). vol. II. London 1844. Series XVII. (30. January 1840.) No. 1919. p. 61.* — Vorsselman de Heer in Poggendorff's Annalen u. s. w. Januar 1840. Bd. XLIX. S. 109.* — S. auch unten, Kap. II. dieses Abschnitts §. II. 2 und 3. Abschn., Kap. V. §. III. 5.

[2] Vergl. Becquerel in seinem Traité etc. t. IV. p. 267.* — Matteucci, Essai etc. p. 43.* — Traité etc. p. 144.* — Linari, Bibliothèque universelle. Novembre 1838. Nouvelle Série. t. XVIII. p. 155.* — Faraday, Experimental Researches etc. vol. II. Series XV. (15. November 1838.) No. 1757—1759. p. 4. 5.*

Wir werden uns dagegen der Methode des Eintauchens zu bedienen haben. Man hat bereits erkannt, dafs dieselbe nichts anderes ist, als das von Nobili und von Matteucci in seinen bis hieher dargestellten Arbeiten angewendete Verfahren. In allen seinen späteren Arbeiten hat aber Matteucci dasselbe hintangesetzt und sich der Methode des Anlegens bedient, ohne sich übrigens auf die Rechtfertigung einer so bedeutenden Abänderung seiner Beobachtungsweise einzulassen. Die Art, wie Matteucci diese letztere Methode ins Werk gesetzt hat und wie es ihm gelungen ist, einige ihrer Uebelstände zu besiegen, sowie die seltsamen Consequenzen, zu denen er durch die noch unüberwundenen geführt worden ist, werden später zur Erörterung kommen.

## 3. Beschreibung der Vorrichtung.

### (1) Die Zuleitungsgefäfse.

Die Vorrichtung, mit deren Hülfe wir das Verfahren des Eintauchens ins Werk setzen wollen, mufs, den bekannten Gesetzen der Fortpflanzung galvanischer Ströme gemäfs, auf möglichst geringen Widerstand von Seiten der Flüssigkeit selbst und an den Grenzen derselben und der metallischen Multiplicatorenden berechnet sein. Es müssen also diese sowohl von beträchtlicher Ausdehnung, als auch so eingerichtet sein, dafs man sie den thierischen Theilen möglichst nahe bringen, und dadurch die vom Strom zu durchlaufende Flüssigkeitssäule möglichst abkürzen könne, und auch in den übrigen Punkten ihrer Länge ist dieser Säule ein möglichst grofser Querschnitt zu ertheilen. Von der näheren Beschaffenheit der Flüssigkeit selbst, welche aufserdem noch mancherlei Bedingungen zu genügen hat, wird nachmals die Rede sein.

Folgendes ist die Gestalt der Vorrichtung, wie ich mich ihrer zuletzt mit hinreichendem Erfolge bedient habe. Ich werde dieselbe in der Folge mit dem Namen der »Zuleitungsgefäfse« bezeichnen. Sie wurde von Herrn Kleiner, nach meiner Angabe, ausgeführt, und besteht aus zwei völlig symmetrischen Hälften, deren jede einem Multiplicatorende angehörig ist. Die zur Linken des Beobachters befindliche Hälfte sieht man Fig. 6 abgebildet.

In die obere Fläche eines mit Bernsteinlack gefirnifsten Brettchens von 112$^{mm}$ Länge, 92$^{mm}$ Breite und 18$^{mm}$ Dicke ist eine kreisförmige Vertiefung von 82$^{mm}$ Durchmesser und 5$^{mm}$ Tiefe ausgeschnitten, so dafs ihr Mittelpunkt 66$^{mm}$ von dem hinteren Rande des Brettchens liegt, dafs also vor derselben nur ungefähr 5$^{mm}$, hinter ihr 25$^{mm}$ von der Länge desselben übrig bleiben. Die beiden vorderen Ecken des Brettchens sind in 5$^{mm}$ Entfernung rund um die Vertiefung fortgenommen worden,

welche also nach vorn durch einen ringförmigen 5$^{mm}$ hohen und breiten Rand begränzt ist. In dieser Vertiefung steht das Zuleitungsgefäfs, ein cylindrisches, mit Bernsteinlack gefirnifstes Glas von 76$^{mm}$ Durchmesser im Glase, bei 61$^{mm}$ Höhe. Der Raum des Brettchens hinter dem Glase, welches in der Vertiefung einige Millimeter Spielraum hat, trägt, etwas seitwärts von der Längsmittellinie, eine mit Glas durchbrochene Messingsäule von 115$^{mm}$ Höhe über dem Brette. An derselben ist, mittelst der einen seiner Durchbohrungen, ein doppelt durchbohrter Klotz auf und nieder verstellbar, durch dessen andere Durchbohrung eine wagrechte Messingstange in der Längsmittelebene der Vorrichtung und in beliebiger Höhe über dem Glase hin- und wiederläuft. Das hintere Ende dieser Stange ist senkrecht durchbohrt und, zur Befestigung schraubenförmig aufgerollter Zuleitungsdrähte, welche zu den in das Galvanometerconsol eingelassenen Schraubenklemmen führen, mit einer Klemmschraube versehen. Ihr vorderes Ende trägt dagegen eine flache, mit zweien Klemmschrauben versehene Blechklemme, in welche zwei Platinbleche, von 26.5$^{mm}$ Breite und 65.5$^{mm}$ Länge mit ihrem äufsersten Rande eingespannt sind. Die Messingstangen haben, mit Ausnahme des viel dickeren unteren Theiles der senkrechten Säule, der durch einen Glasstab unterbrochen ist, 7$^{mm}$ Durchmesser; die wagrechte Stange mifst beiläufig 118$^{mm}$ Länge, und die Blechklemme an ihrem vorderen Ende 70$^{mm}$ Länge und 13$^{mm}$ Breite.

Die beiden Hälften der Vorrichtung stehen auf einem völlig ebenen, gefirnifsten Brette von 320$^{mm}$ Länge auf 210$^{mm}$ Breite, und ihre eigenen unteren Flächen müssen gleichfalls gut geebnet sein, da man häufig einer sehr zarten Verschiebung beider gegeneinander und gegen andere Vorrichtungen bedarf. Die Verstellung der wagrechten Messingstange dient dazu, die Platinplatten möglichst nahe an die eingetauchten thierischen Theile bringen zu können.

### (II) Umhüllung der Platten.

Folgender einfache Kunstgriff sichert vor Strömen wegen ungleichzeitigen Eintauchens durch Anwogen der Flüssigkeit gegen die Platinplatten, ohne, wie dies bei Matteucci's Einrichtung mit den vier Gefäfsen (S. oben S. 119. 134) der Fall war, eine merkliche Vergröfserung des Leitungswiderstandes nach sich zu ziehen. Man hüllt nämlich die Platten bis über die Oberfläche der Flüssigkeit in einen dicht anliegenden Mantel von Fliefspapier. Dieser hält sich fortwährend mit Flüssigkeit getränkt, so dafs beim Anwogen keine noch unbenetzten Stellen der metallischen Oberflächen getroffen werden. Die Hülle mache ich aus leicht filtrirendem schwedischen Fliefspapier. Gewöhnlich reichte

dieselbe 50$^{mm}$ hoch an den Platten hinauf, so dafs jede eine einfache benetzte Oberfläche von 13.25 Quadratcentimeter darbot. Mit seinem oberen Rande wird das Papier mittelst unfiltrirten Schellackfirnisses an die Platte festgeklebt. Man hüte sich vor Luftblasen, die sich etwa unter demselben gefangen haben; die abwechselnde Benetzung und Austrocknung der darunter gelegenen Stellen setzt fortwährend elektromotorische Ungleichartigkeiten. Zwischen dem oberen Saume der Bekleidung und dem Rande der Platte, der in die Blechklemme eingespannt wird, ist die Platte mit Copal, der in Aether gelöst ist, zu firnissen. Der verdampfende Aether läfst das Harz schnell als unzusammenhängenden weifslichen Ueberzug auf dem Platin zurück; mehrmaliges Durchziehen durch eine kleine Spiritusflamme reicht jedoch zum Anschmelzen desselben hin. Diese Bedeckung des oberen Theiles der Platte mit Harzen hat aufser einem später zu erwähnenden Zweck noch denjenigen, dafs wenn die Flüssigkeit einmal beim Anwogen eine unbekleidete Stelle der Platte treffen sollte, doch keine Ströme wegen ungleichzeitigen Eintauchens entstehen. Man fragt, weshalb nicht statt der Einhüllung einfach die Platten bis unter die Oberfläche der Flüssigkeit mit Firnifs überzogen worden sind? Die Einhüllung bietet jedoch mehrere Vortheile dar. Erstens werden gewisse Verunreinigungen, welche bei den thierisch-elektrischen Versuchen vorkommen, z. B. mit Blut, Schleim u. d. m. dadurch von den Platinplatten abgehalten; zweitens kann man, mit Hülfe derselben, die benetzte Oberfläche eher noch vergröfsern, während man sie, um die Platten durch Firnifs gegen das Anwogen zu schützen, verkleinern müfste; drittens giebt sie ein mehr sicheres Schutzmittel gegen diesen Uebelstand ab, als die harzigen Ueberzüge, da die Platten doch stets nur aus leicht zu verbiegendem Blech bestehen, so dafs bald Sprünge in den Firnifsschichten zu Stande kommen. Einen vierten Umstand, der die Umhüllung der Platten sogar unumgänglich nothwendig macht, werden wir später noch kennen lernen.

### (m) Die zuleitende Flüssigkeit.

Von grofser Wichtigkeit ist nun die Wahl der Flüssigkeit, mit der wir unsere Gefäfse anfüllen wollen. Diese Flüssigkeit mufs natürlich völlig gleichartig, und ihr eigenthümlicher Widerstand möglichst gering sein; sie mufs aber zugleich so beschaffen sein, dafs Platinenden darin leicht gleichartig werden und bleiben; endlich dürfte sie, genau genommen, auch nicht zu stark ätzend wirken, da die thierischen Theile mit derselben in Berührung kommen sollen. Leider sind meine Erfahrungen über diesen Punkt sehr eingeschränkt geblieben. Die Flüssigkeit, deren ich mich ausschliefslich bedient habe, ist gesättigte filtrirte

Kochsalzlösung. Diese erfüllt, dem Anscheine nach, die obigen Bedingungen hinlänglich. Gesättigt nehme ich sie, um der vollkommenen Gleichartigkeit gewifs zu sein, [1] weshalb auch stets Kochsalzkrystalle auf dem Boden der Gefäfse liegen müssen. Die Platten werden ohne Umstände gleichartig darin. Was das Anätzen betrifft, so mufs man, wenn man nicht auf das Leitungsvermögen der Flüssigkeit Verzicht leisten will, entweder, bei roheren Versuchen, dasselbe ungestört vor sich gehen lassen, was wirklich häufig ohne allen Nachtheil geschehen kann, oder, bei feineren, die thierischen Theile auf eine gewisse Art davor schützen, die unten beschrieben werden wird. Die Stärke der Ströme, welche die Kochsalzlösung zuliefs, war für mein Instrument in den meisten Fällen durchaus hinreichend; indessen verdient jedes Mittel Aufmerksamkeit, wodurch diese Stärke noch erhöht werden könnte, und dieses würde allerdings vorzugsweise in der Verminderung des eigenthümlichen Widerstandes der Flüssigkeit zu suchen sein, da es nicht zu hoffen steht, dafs man denselben durch Veränderung der Mafse des feuchten Leiters noch sonderlich werde verringern können. Bei der schon jetzt vorhandenen Kürze nämlich der Flüssigkeitssäule scheint eine Vergröfserung des Querschnittes derselben nur von kleiner Bedeutung für die Leitungsfähigkeit sein zu müssen, weil die neuen Bahnen, die dem Strom dadurch geöffnet werden, so aufserordentlich viel länger als die kürzesten Abstände von den thierischen Theilen nach den Platinplatten ausfallen.

Matteucci, der sich bei seinen neueren Arbeiten (S. unten, No. 4) für gewöhnlich destillirten Wassers oder sehr verdünnter Seesalzlösung als Leitungsflüssigkeit bediente, hat einige Versuche gemacht, in denen er dieselben mit verschiedenen feuchten Leitern von mannigfacher chemischer Beschaffenheit vertauschte: mit verdünnter Schwefel-, Salpeter- und Salzsäure, Kali-, Natron-, Kalk- und Barythydratlösung, und schwefelsaurer Kalilösung. [2] Indessen hatte er dabei nicht sowohl den praktischen Gesichtspunkt im Auge, eine möglichst zweckdienliche Leitungsflüssigkeit zu den thierisch-elektrischen Versuchen auszumitteln, als denjenigen, den Nachweis zu führen, dafs die Richtung der Ströme von der chemischen Natur dieser Flüssigkeit unabhängig sei. Es zeigte

[1] »Concentrirte (bei 12° R.) Chlornatriumlösung war positiv gegen Lösungen, »die 0,001; 0,01; 0,1 Chlornatrium enthielten.« Walcker in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1825. Bd. IV. S. 324.« — Humphry Davy in Philosophical Transactions etc. For the Year 1826. p. III. p. 404.« — Becquerel, Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme. t. IV. 1836. p. 200.«

[2] Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 322.«

sich, dafs die Säuren die stärkste Wirkung hervorbrachten; dann kamen die Salze, endlich die alkalisch reagirenden Flüssigkeiten.

Ich selbst habe noch nicht Zeit gefunden, mich mit Versuchen in jenem Sinne zusammenhängend zu beschäftigen. Ich habe nur, im Beginn meiner Untersuchungen, einmal schwefelsaure Kupferoxydlösung, Chlorammonium und Quecksilberchloridlösung versuchsweise in Anwendung gebracht. Bei der Wahl derselben hatte ich mich durch keine andere Rücksicht leiten lassen, als dafs ich sie in den Lehrbüchern unter den bestleitenden Salzlösungen aufgeführt fand, während Kochsalzlösung gerade eine der am wenigsten leitenden sein würde. [1] Diese Wahl war indessen keine sehr glückliche gewesen; zwar erschienen die Wirkungen der thierischen Theile in allen dreien aufserordentlich verstärkt, allein ebenso wurden sie auch mit der gröfsten Heftigkeit angegriffen, und vollends auf keine Weise wollte es mir damals gelingen, die Platinenden gleichartig zu erhalten. Von der schwefelsauren Kupferoxydlösung, wo sich schliefslich Kupferspuren auf der einen Platte vorfanden, und auch der Sublimatlösung, wo sich ein farbenspielender Ueberzug niederschlug, hätte ich dies einigermafsen vorhersehen können. Die Kupferlösung bot noch aufserdem den Nachtheil dar, dafs bei der häufig nicht zu vermeidenden Benetzung der stählernen Schneidewerkzeuge mit der Zuleitungsflüssigkeit diese sich mit einer Kupferhaut bekleideten und ihre Schärfe einbüfsten. Vielleicht würde es sich der Mühe verlohnen, einen Versuch mit gesättigter Alaunlösung anzustellen, deren eigenthümliches Leitungsvermögen gleichfalls sehr hoch zu stehen scheint, wenn man hier nicht etwa durch Temperaturunterschiede Entstehung von Ungleichartigkeiten zu besorgen hätte. Von Säuren würden sich begreiflich nur die nicht flüchtigen, Schwefel- und Phosphorsäure, in hinlänglicher Verdünnung anwenden lassen. Abgesehen von dem heftigen Anätzen der thierischen Theile sowohl als der Schneidewerkzeuge, würde ich auch bei ihrem Gebrauche die Bürgschaft ungern vermissen, welche wenigstens bei den meisten Salzlösungen der Zustand der Sättigung gewährt. Ueber einen anderen hier noch anzustellenden Versuch, den Ausschlufs der Ladungen durch Anwendung von Metallsalzlösungen zwischen Elektroden aus demselben Metall betreffend, s. unten, §. IV. No. 2.

### (IV) Von der Art und Weise, die Vorrichtung in brauchbarem Zustande aufzubewahren.

Der Sättigungszustand der zuleitenden Salzlösung bringt leicht einen äufserst lästigen Umstand mit sich. Bei einiger Trockenheit der

[1] S. Fechner's Lehrbuch u. s. w. S. 234 ff., S. 549 ff.

umgebenden Luft nämlich ist, durch die fortwährende Verdunstung der Lösung, das Salz ebenso in fortwährendem Herauskrystallisiren begriffen, und zwar vorzugsweise an der Oberfläche der Flüssigkeit, rings um die Hüllen der Platinplatten sowohl, als an dem Rande der Gefäfse, welche unablässig von Krystallvegetationen beklettert werden. Erstrecken sich dieselben erst einmal über den Rand der Gläser hinaus, so findet man nach Ablauf weniger Stunden die Vorrichtung von Flüssigkeit halb entleert und den Arbeitstisch damit überschwemmt. Weit gröfseren Schaden richten sie jedoch bei ihrem Ansteigen längs der metallischen Multiplicatorenden an. Wäre der Raum oberhalb des festgeklebten Randes der Fliefspapierhülle nicht gefirnifst, so würden hier alsbald Ungleichartigkeiten wegen ungleichzeitigen Eintauchens entstehen, wie man dies in der That beobachtet, wenn die Firnifsdecke durch Risse unterbrochen ist; denn durch die unablässig, wenngleich noch so langsam fortkriechende Schicht durchfeuchteter Salzkrystalle werden stets neue Punkte der Platinoberfläche mit der Flüssigkeit in Berührung gebracht. Erreichen die Krystalle endlich die Messingklemmen, so ist begreiflich die Vorrichtung vor der Hand unbrauchbar; man hat in dem Multiplicatordraht eine Nebenschliefsung zu einer Platin-Messingkette mit gesättigter Kochsalzlösung als feuchtem Leiter, welche, wie ungünstig auch das Verhältnifs der Widerstände der Nebenzweige sich stellt, an meinem Instrumente doch immer einen Ausschlag von mehreren 50° und eine beständige Ablenkung von 10 — 15° hervorzubringen im Stande ist. In diesem Falle bleibt nichts übrig, als die Vorrichtung auseinanderzunehmen, was um so schleuniger geschehen mufs, als durch die Wirkung jener Kette die Messingklemmen lebhaft angegriffen werden.

Die verderbliche Wirkung des Kletterns der Salzkrystalle während der Arbeitszeit selbst möglichst zu verzögern und zu verhüten, dient zum Theil das Ankleben der Hüllen an die Platten mit Firnifs, wie auch der harzige Ueberzug der letzteren oberhalb der Bekleidung mit Fliefspapier, ferner das Firnissen des Randes der Gefäfse selbst mit Bernsteinlack. Sodann mufs ich rathen, die Platinplatten länger zu nehmen, als die meinigen sind, damit der Abstand zwischen der Oberfläche der Flüssigkeit und dem unteren Rande der Blechklemmen gröfser ausfalle. Meine Platten waren, wie bemerkt, gewöhnlich $50^{mm}$ hoch bekleidet und steckten $2.5^{mm}$ tief in den Klemmen, so dafs ungefähr $13^{mm}$ zwischen dem oberen Rande der Hülle und dem Messing übrig blieben; man wird diesen Raum jedoch mit Vortheil verdoppeln können. Auch nehme man, der Haltbarkeit der harzigen Ueberzüge halber, das Platinblech nicht zu dünn, wie es denn überhaupt den Elektrikern bekannt sein wird, dafs der höhere Preis schwererer Platten

durch eine grofse Menge kleiner Bequemlichkeiten bei ihrer Handhabung reichlich aufgewogen wird. Die meinigen sind beiläufig im Mittel etwas über 2$^{gr}$ schwer.

Um aber die Vorrichtung während der Zeit, dafs nicht daran gearbeitet wird, über Nacht, oder auch Tage, ja Wochen lang ganz vor jenem Uebelstande zu schützen, kenne ich kein anderes Mittel als folgendes. In ein stark mit Bernsteinlack gedecktes Brett von 470$^{mm}$ Länge und 235$^{mm}$ Breite ist eine 13$^{mm}$ breite und tiefe Rinne eingeschnitten, deren äufserer Rand überall ungefähr 20$^{mm}$ von dem Umfange des Bretts entfernt bleibt. Auf dasselbe, innerhalb des durch die Rinne eingeschlossenen Raumes, wird die vor der Verdunstung zu sichernde Vorrichtung, zwischen beiden Gefäfsen durch einen feuchten Bogen, zwischen den metallischen Theilen durch einen Draht zur Kette verbunden, gestellt, und mit einem in die Rinne passenden, mittelst Blechwinkel und Glaserkitt luftdicht zusammengehaltenen Glaskasten von 175$^{mm}$ Höhe bedeckt. In die Rinne wird Wasser gegossen. Der Kasten schliefst mehr an die äufsere als an die innere Wand desselben an, so dafs die gröfsere Wasserfläche immer in sein Inneres vor Verdunstung geschützt fällt. Auf diese Weise zerfliefsen eher die Salzkrystalle im Innern des Kastens, als dafs die Lösung auskrystallisirte. Durch einen Vorrath ungelösten Salzes auf dem Boden der Gefäfse wird dem nun vielleicht zu fürchtenden Uebelstande leicht vorgebeugt, dafs die Salzlösung aufhören möchte gesättigt zu sein, an Leitungsgüte verlöre, oder gar in beiden Gefäfsen ungleiche Sättigungszustände annehme. Diese Vorrichtung belege ich mit dem Namen der feuchten Kammer.

### (v) Schliefsungsrohr.

Die Baumwollendochte, oder Asbeststreifen, deren man sich anfangs bei den Versuchen über Ketten aus mehreren flüssigen Leitern zu bedienen pflegte, um zwei Gefäfse durch eine Flüssigkeitsbrücke mit einander zu verbinden, und deren Gebrauch wir auch in Matteucci's früheren thierisch-elektrischen Versuchen begegnet sind (S. oben S. 119. 120), haben bei jener Klasse von Beobachtungen nun schon längst heberförmig gebogenen Röhren, meist mit capillaren Oeffnungen, weichen müssen.[1] Auch hier sind sie aus mehreren Gründen verwerflich. Ihre Handhabung ist unreinlich; ihr veränderlicher Widerstand macht die Beurtheilung der Gleichartigkeitsstufe der Platinplatten leicht trüglich; man kann sie nicht zwischen den um eine Froschlänge entfernt stehenden Gefäfsen ohne einen mittleren Unterstützungspunkt anbringen;

[1] S. Fechner's mehrerwähnte Abhandlung über die Becquerel'sche Kette.

sie wirken heberartig ausleerend, so wie ein Punkt derselben tiefer als die Oberfläche der Flüssigkeit in den Gläsern zu liegen kommt; endlich kostet es Mühe, sie vollständig mit gesättigter Salzlösung zu tränken, welche bekanntlich mit der Pflanzenfaser einen so kleinen Berührungswinkel macht, dafs man sie mit einem trockenen Tuche, ohne vorher Wasser hinzuzugiefsen, von einem Tische nicht viel besser wie Quecksilber aufwischen kann. Von allen diesen Mängeln sind Glasröhren frei. Begreiflich dürfen dieselben hier indessen nicht mit capillaren Oeffnungen versehen sein; vielmehr mufs ihr Widerstand dem der thierischen Theile stets nachstehen, damit Ungleichartigkeiten, welche bei Anwendung derselben bereits verschwanden, bei Einführung dieses noch gröfseren Widerstandes vollends unmerklich werden. Die Gestalt, die ich den meinigen gegeben habe, ist Taf. I. Fig. 7 abgebildet. Ich hatte deren zwei, von ungefähr 16$^{mm}$ Durchmesser im Lichten, die eine, zu Versuchen mit dem Gesammtfrosche bestimmt, von 115$^{mm}$ Länge zwischen den inneren Rändern ihrer offenen Enden, die andere, auf solche mit dem Galvani'schen Präparate berechnet, von nur 80$^{mm}$ zwischen denselben Punkten. Sie sind mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllt und mit Ausschlufs der Luft an ihren beiden Oeffnungen mit feuchter thierischer Blase zugebunden. Ich werde dieselben später kurz als »Schliefsungsrohre« bezeichnen.

### (vi) Sicherheitsplatten.

Um die Schliefsungsrohre sowohl, als auch die thierischen Theile selbst, z. B. einen ganzen, sich noch krampfhaft wehrenden Frosch, endlich eine später bei der Untersuchung des lebenden unversehrten Frosches vorkommende Hülfsvorrichtung [1] in den Zuleitungsgefäfsen frei handhaben zu können, ohne dafs man zu besorgen hätte, durch Berührung des Messings der einen Klemme mit feuchtem Leiter, der gleichzeitig in die Flüssigkeit des anderen Gefäfses taucht, durch Anspritzen eines Tropfens Salzlösung an die Grenze von Platin und Messing, oder sonst durch irgend einen Unfall, die unerläfsliche Gleichartigkeit der Vorrichtung zu gefährden, — dazu dienen die Taf. II. Fig. 8 im Grundrifs von oben, Fig. 9 im Aufrifs von vorn, Fig. 10 im seitlichen Aufrifs in der halben natürlichen Gröfse dargestellten Schutz- oder Sicherheitsplatten. Es sind Glasplatten von der Fig. 9 erkennbaren Form, die mit Hülfe eines hölzernen Rähmchens, welches zugleich den Klemmen von oben her Schutz gewährt, über diese gehängt werden, so dafs sie sich, ihrer vorderen Fläche anliegend, mit den beiden unteren

[1] S. unten, 3. Abschn., Kap. VIII. §. 1.

abgeschrägten Ecken auf die Ränder der Gefäfse in wechselnder Höhe, je nach der Höhe der wagrechten Stange, stützen. In die untere Fläche der Rähmchen sind, zur Sicherung ihrer Lage auf dem Rücken der Klemmen, für die mittlere wagrechte Stange und die beiden Klemmschraubenköpfe Rinnen ausgeschnitten, die in Fig. 8 und 9 besonders deutlich hervortreten. Sie tauchen, wie man sieht, abermals nach Mafsgabe der Höhe der wagrechten Stange, mehr oder weniger tief in die Flüssigkeit ein, deren Stand in Fig. 9 und 10 durch die punktirte Linie *ff'* bezeichnet ist; der Umweg des Stromes zu den höheren Theilen der Platinplatten, welcher dadurch bedingt wird, kommt, bei dem doch stets so beträchtlichen Widerstande der thierischen Theile, nicht merklich in Betracht.

### (VII) Von den Bäuschen.

So weit sie bis hieher dem Leser vorgeführt wurde, reicht unsere Vorrichtung nur für die gröberen thierisch-elektrischen Versuche aus, zu denen man sich des Gesammtfrosches oder des GALVANI'schen Präparates bedienen kann. Die Unmöglichkeit aber, mit Hülfe zweier Gläser das elektromotorische Verhalten z. B. verschiedener Punkte eines Muskels oder gar eines Nerven vom Frosche zu untersuchen, springt in die Augen. Die Einrichtung, welche ich hierzu getroffen habe, ist eigenthümlicher Art; ich kann kaum hoffen, weder durch Beschreibung noch durch Abbildung eine vollkommen deutliche Vorstellung davon zu geben. Sie besteht aus den beiden Aufsätzen, welche man Taf. I. Fig. 11 auf den vorderen Rändern der Zuleitungsgefäfse bemerkt. Es sind dies Compressen oder Bäusche aus sehr vielen Lagen feinen Fliefspapiers, welche, mit der gesättigten Salzlösung getränkt, Verlängerungen der Zuleitungsflüssigkeit beider Gläser von passender Gestalt und Consistenz und geeigneten Mafsverhältnissen vorstellen, um Ströme von kleinen und zarten thierischen Theilen leicht aufnehmen und fortführen zu können. Sie ruhen, aufser auf dem Rande der Gefäfse selbst, innerhalb derselben noch auf gefirnifsten Holzvorsprüngen, welche an die Wand der Gläser gekittet sind. Der darüber schwebend abgebildete Bausch leistet, auf die Zuleitungsbäusche aufgelegt, für dieselben den nämlichen Dienst, wie die oben beschriebenen Schliefsungsrohre für die Gefäfse an und für sich: er wird in der Folge Schliefsungsbausch genannt werden. Die Zuleitungsbäusche sind 55$^{mm}$ breit, 15$^{mm}$ dick; sie müssen, um die Länge der durch sie getragenen Flüssigkeitssäule nicht unnöthig zu vergröfsern, möglichst wenig über den Rand der Gefäfse vorragen, aber doch so weit, dafs sie, wenn beide Zuleitungsgefäfse einander in den Vertiefungen ihrer Brettchen möglichst

nahe gerückt sind, mit ihren vorderen Flächen aneinanderstofsen. Der Schliefsungsbausch hat, bei 55$^{mm}$ Länge und beinahe 15$^{mm}$ Dicke, 30$^{mm}$ Breite. Jeden Zuleitungsbausch bereite ich aus anderthalb Bogen dichten schwedischen Filtrirpapiers; den Schliefsungsbausch aus nur Einem Bogen. Jene bestehen aus 144, diese aus 128 Lagen dieses Papiers. Sämmtliche Ränder der Bäusche sind, um sie ebener zu erhalten und das Fangen von Luftblasen im Innern derselben zu verhüten, wie der Schnitt eines Buches beschnitten. Die der Luft ausgesetzten Flächen bedecken sich fortwährend mit Krystallen; dies bringt hier jedoch mehr Vortheile als Nachtheile. Da nämlich, den oben erörterten Grundsätzen zufolge, die Kette stets mittelst eines möglichst guten Leiters geschlossen zu halten ist, so rückt man in den Zwischenzeiten zwischen den Versuchen die vorderen Flächen beider Zuleitungsbäusche dicht aneinander und deckt beide mit dem Schliefsungsbausch zu (Fig. 12); auf diese Weise bleiben die oberen und vorderen Flächen von Krystallen frei, welche dagegen an allen anderen einen festen auswendig trocknen Mantel bilden, wodurch der Zusammenhang der Fliefspapierschichten vermehrt und vornehmlich die Handhabung des Schliefsungsbausches sehr erleichtert wird. Um die Flüssigkeitssäule zwischen den thierischen Theilen und den Platinplatten möglichst abzukürzen, läfst man diese, wenn man die Bäusche anwendet, nicht in der Flüssigkeit stehen, sondern hebt sie so hoch aus derselben heraus, dafs der Rand der Fliefspapierbekleidung mit der oberen Fläche der Bäusche ungefähr in einer wagerechten Ebene liegt, und drängt nun die vordere Fläche der Platten gegen die hintere der Bäusche an (Fig. 12), wobei sich die Hülle der ersteren völlig dicht an die letzteren anschmiegt, so dafs der Strom von der vorderen und oberen Fläche der Bäusche auf dem kürzesten Wege zu den metallischen Multiplicatorenden gelangt. Man sieht, dafs diese Anordnung unausführbar wäre, wenn die Platinplatten, anstatt durch eine Fliefspapierhülle, nur durch eine Firnifsdecke an ihrem oberen Theile gegen das Anwogen geschützt worden wären. (S. oben S. 215). Die Platten verhindern zugleich die Bäusche rückwärts von ihren Trägern in die Gefäfse hinabzusinken, und gestatten sonach eine gröfsere Verkürzung ihres über den Rand der Gläser fortragenden Theiles, wodurch sie sonst zum Theil im Gleichgewicht gehalten werden müfsten.

Bei weitem die Mehrzahl der später zu beschreibenden Versuche sind mit diesen Bäuschen angestellt worden. Man kann sich, selbst wenn man Tag für Tag damit arbeitet, doch viele Monate, ja sogar Jahre lang derselben Bäusche bedienen. Natürlich darf man sie nicht austrocknen lassen, sondern mufs sie, wenn die Vorrichtung ruht, in ge-

sättigter Kochsalzlösung, oder, auf kürzere Fristen, wenigstens in der feuchten Kammer (S. oben S. 219) aufbewahren. Sind sie nichtsdestoweniger einmal trocken geworden, so mufs man sie erst in reinem Wasser auswaschen und sie dann in Kochsalz legen, welches mit gesättigter Kochsalzlösung übergossen ist; durch Diffusion werden sie wieder brauchbar. Man wird dies lieber thun, als neue Bäusche herstellen, was seine Schwierigkeiten hat. Ob sich dergleichen aus Holz oder porösem Thon mit Vortheil anfertigen lassen würden, bin ich noch nicht im Stande zu sagen. Von beiden ist zu fürchten, dafs ihr Widerstand beträchtlicher sein wird, als der der Papierbäusche, dafs sie sich minder gut der Bekleidung der Platten sowohl als den thierischen Theilen anschmiegen werden, und endlich dafs sie leicht durch Krystallisation des Kochsalzes in ihrem Innern nahe der Oberfläche zu Grunde gehen möchten.

Später werden wir den Gebrauch der Zwischenbäusche und der Hülfsbäusche kennen lernen. Zwischenbäusche nenne ich abgerundet vierseitige Prismen, welche aus demselben Fliefspapier wie die Zuleitungsbäusche gewickelt und mit gesättigter Kochsalzlösung getränkt, mittelst geeigneter Vorrichtungen, deren Beschreibung uns noch bevorsteht, in der Fig. 13 sichtbaren Weise zwischen den Zuleitungsbäuschen aufgestellt werden. Sie haben 60$^{mm}$ Länge, 20$^{mm}$ Breite und 15$^{mm}$ Dicke. Hülfsbäusche sind Bäusche von verschiedener Gestalt, welche auf die Zuleitungsbäusche aufgelegt werden, und einfach Verlängerungen derselben von passender Form und solchen Mafsverhältnifsen darstellen, dafs man mit Hülfe derselben schwer zugänglichen thierischen Theilen beikommen kann.

### (VIII) Von den Eiweifshäutchen.

Sämmtliche Versuche, bei denen man der Bäusche bedarf, sind der Art, dafs es zugleich nothwendig wird, die thierischen Theile vor dem Anätzen durch die Salzflüssigkeit zu schützen. Dies geschieht auf folgende Weise. Man schneidet aus einer gut ausgewaschenen, möglichst von Fett befreiten, in stark gespanntem Zustande getrockneten, also glatten, und nicht allzudicken Schweinsblase viereckige Stückchen von ungefähr 20$^{mm}$ Länge auf 13$^{mm}$ Breite aus, weicht dieselben in Hühnereiweifs auf, und breitet sie (Fig. 13, am Zwischenbausch rechts) an den Stellen der Bäusche aus, wo die thierischen Theile ruhen sollen. In den meisten Fällen schmeckt die äufsere Fläche derselben erst leicht salzig, wenn die Nerven und Muskeln schon aufgehört haben, brauchbar zu sein. Natürlich mufs man sie, vor jedem Versuch, möglichst spät auflegen, da sie, abgesehen von dem Durch-

wandern der Salzlösung, dem Austrocknen stark ausgesetzt sind. Auch mufs man sich hüten, wenn man vor dem Versuch die Gleichartigkeit der Platinenden nochmals mit dem Schliefsungsbausch zu prüfen wünscht, mit demselben jene äufsere Fläche zu berühren; vielmehr lege man ihn seitwärts auf Stellen der Zuleitungsbäusche auf, auf welchen nicht gearbeitet werden soll. Damit er nichtsdestoweniger ruhig aufliegen und in hinreichender Ausdehnung berühren könne, ist es zweckmäfsig, die Stückchen Blase an dem äufsersten Ende der Bäusche auszubreiten, wie es auch die Figur zeigt. Die angegebenen Mafse sind, wie sich von selbst versteht, für Froschmuskeln und -Nerven berechnet. Vom Weifsen des Eies darf man dazu nur die äufserste, dünnflüssige Schicht nehmen. Nicht nur taugen die dem Dotter näheren Schichten zum Aufweichen nicht, sondern die verschiedene Menge der in denselben gelöst enthaltenen alkalisch reagirenden Salze würde zu elektromotorischen Ungleichartigkeiten Anlafs geben. Selbst bei Berücksichtigung dieser Vorsichtsmafsregel findet man übrigens nicht selten, dafs die Eiweifshäutchen, so will ich dieses Schutzmittel nennen, nicht vollkommen gleichartig sind. Es ist wahrscheinlicher, dafs dies in der Blase als in dem Eiweifs begründet sei, mit dem sie sich durchzogen hat. Das Hühnereiweifs durch Blutserum zu ersetzen, habe ich noch nicht versucht, da die Herstellung des letzteren stets mit Umständen verknüpft ist, die sich, wenn man es nicht höchst sorgfältig reinigte, wegen Fäulnifs, namentlich unter Mitwirkung der eingelegten Stückchen Blase, zu häufig erneuern würden. Aufgeweicht ist die Blase erst dann, d. h. ihr volles Leitungsvermögen hat sie erst dann erreicht, wenn sie ganz weifs und undurchsichtig geworden ist. Allerdings wird mit den Eiweifshäutchen ein beträchtlicher Widerstand in die thierischen Ketten eingeführt, unstreitig jedoch ein geringerer, als wenn man die Salzlösung so verdünnt nehmen wollte, dafs sie nicht mehr merklich ätzend auf die thierischen Theile einzuwirken vermöchte. Man hüte sich vor Luftblasen unter den manchmal ziemlich elastischen Stückchen Blase; begreiflich findet sich alsdann der Widerstand in aufserordentlichem Mafse vermehrt. Froschhaut, durch die ich die Eiweifshäutchen zu ersetzen versucht habe, zeigt sich, ihrer grofsen Elasticität halber, vermöge welcher sie sich stets nach innen einrollt, zu diesem Behufe so gut wie untauglich.

Hier mag auch der Gebrauch der hölzernen Knöpfe erläutert werden, von denen man einen in Gestalt eines flachen Rotationsellipsoïds von $30^{mm}$ grofser Axe auf der senkrechten Säule der Vorrichtung Fig. 6 bemerkt. Sie dienen dazu, bei der Handhabung zarter Gegenstände, von Nerven, Muskeln u. d. m. auf den Bäuschen mittelst Pincetten,

oder beim Auflegen der Eiweifshäutchen, einen isolirenden Stützpunkt für den Ballen der arbeitenden Hand zu gewähren.

### (IX) Handgriffe, um die verloren gegangene Gleichartigkeit der Vorrichtung wiederherzustellen.

Ich beschliefse diese Beschreibung meiner Vorrichtung mit der Darstellung einiger Handgriffe, welche dann in Anwendung kommen, wenn, was leider nur zu oft der Fall ist, sich plötzlich eine Ungleichartigkeit eingefunden hat, die erst zu verbannen ist, ehe mit Versuchen fortgefahren werden kann. Gesetzt, man habe die Anordnung Fig. 12 mit den Bäuschen vor sich; sie sei ungleichartig geworden, ohne dafs man wisse, wo der Sitz der entstandenen Kette sei. Natürlich mufs sich die Prüfung zuerst auf diejenigen Theile des Apparates richten, wo eine Ungleichartigkeit am leichtesten zu entdecken, und wo derselben am einfachsten abzuhelfen ist. Man fängt daher damit an, den Schliefsungsbausch umzukehren, so dafs das dem Bausch *B* entsprechende Ende desselben auf den Bausch *B'* zu liegen kommt. Bleibt die Ablenkung, von der man sich beiläufig überzeugt haben mufs, dafs sie wirklich von einem Strom herrührt, nicht von einer Schwankung der freiwilligen Ablenkung der Doppelnadel (S. oben S. 192), so vertauscht man die Bäusche *B*, *B'* selbst gegeneinander. Im Allgemeinen wird man finden, dafs sie sowohl wie der Schliefsungsbausch, trotz der vielfachen Verunreinigungen, denen sie ausgesetzt werden, meistens an den Ungleichartigkeiten unschuldig sind. Sollte sich jedoch die Wirkung mit ihrer Verwechselung umgekehrt haben, so mufs man sie so lange in gesättigter Kochsalzlösung auswaschen, bis die Gleichartigkeit wieder erreicht ist. Häufiger gehen diese Störungen von den Flüssigkeitsmassen in den Zuleitungsgefäfsen selbst aus, wenn nämlich ohne Bäusche, mit Eintauchung gröfserer thierischer Theile unmittelbar in die Salzlösung gearbeitet wird. Man entdeckt alsdann ihren Sitz dadurch, dafs die Ablenkung trotz dem Wechsel der wagrechten Stangen Fig. 6 nebst den doppelt durchbohrten Klötzen, den Klemmen und Platinplatten ihre Richtung und Gröfse unverändert beibehält, und man wird Herr derselben, indem man die Flüssigkeit der Gefäfse in zwei andere Gläser und mit einem Zusatz frischer Salzlösung mehrfach durcheinandergiefst. Sollte nichtsdestoweniger die Ablenkung keine Veränderung erlitten haben, so würde dies ein Zeichen sein, dafs sie ihren Sitz in anderen unverrückt gebliebenen Theilen der Kette hat. Sehr selten wird dies der Fall sein; es könnte nur daher rühren, dafs an eine Verbindungsstelle der metallischen Glieder des Kreises Feuchtigkeit irgendwie hingelangt wäre. Man würde demnach diese Verbindungen

eine nach der andern sorgfältig zu mustern und mit Glas- oder Schmirgelpapier zu reinigen haben, bis man der schuldigen unter denselben auf die Spur gekommen wäre.

Bei weitem am häufigsten liegt der Fehler an den Platinplatten selbst, vorzüglich wenn man, wie ich selbst während eines grofsen Theils meiner Untersuchungen, einer feuchten Kammer entbehrt, um die Vorrichtung darin, vor der Verdunstung geschützt, aufzubewahren, und der Sicherheitsplatten, um sie vor dem Anspritzen von Salzlösung an die Berührungsstelle von Platin und Messing zu sichern. Es sind zwei Fälle möglich; entweder diese Stelle ist sichtlich von der Salzlösung erreicht, sei es durch Klettern der Krystalle, sei es durch Anspritzen; oder sie ist es scheinbar noch nicht, man hat aber doch Grund zu vermuthen, dafs das Messing eine Kette mit dem Platin bilde, die einen Stromarm durch den Multiplicator schickt. Es braucht nicht erinnert zu werden, dafs diejenige Hälfte der Vorrichtung, welche Sitz einer solchen heimlichen Kette ist, sich stets positiv gegen die andere verhält. In dem ersten Falle wird man nicht in Zweifel bleiben, welche von den Platten der Hülfe bedarf; in dem zweiten kann man sich manchmal die Mühe, alle vier zu bearbeiten, dadurch ersparen, dafs man abwechselnd die eine und die andere derselben Seite entfernt, und den Einfluſs dieser Abänderung auf die Nadel beobachtet. In beiden Fällen handelt es sich jedoch übereinstimmend darum, den Theil der Platte oberhalb der Bekleidung von Salz zu befreien, den in die Blechklemme eingespannten Rand derselben völlig zu reinigen, und den Firnifsüberzug zu erneuern. Man kann dies nun glücklicherweise in der That zu Stande bringen, ohne dafs man nöthig hätte, zugleich die Platte mit einem neuen Ueberzuge zu versehen, was immer zeitraubend und mühsam ist. Aufserdem mufs begreiflich die Blechklemme auf das sorgfältigste geputzt werden, was, nach Wegwischen der Salzlösung mit einem nassen Tuch und Abtrocknen mit reinem Linnen, am zweckmäfsigsten mit grobem Schmirgelpapier geschieht. Nie erwarte man übrigens, selbst wenn die Herstellung der Gleichartigkeit zuverlässig geglückt sein sollte, sich der Vorrichtung alsbald wieder bedienen zu können; da nicht nur die frisch behandelten Platten erst wieder eine Zeit lang geschlossen stehen müssen, um nicht mehr elektromotorisch zu wirken, sondern auch, wenn früher das Messing berührt worden war, erst die durch den Strom erregten Ladungen, deren letzte Spur sehr hartnäckig sein kann, völlig verwischt werden müssen. Man sieht leicht, wie zeitraubend auf diese Weise jene Ungleichartigkeiten sich gestalten, da Stunden darüber vergehen, ehe man den Erfolg einer oft nur versuchsweise ergriffenen Mafsregel kennen lernt; und in der That war es im Beginn

meiner Versuche gar nichts ungewöhnliches, dafs ich ganze Tage in vergeblichem Kampfe gegen dieselben verlor.

Es giebt übrigens, wie auch bereits bevorwortet wurde, Fälle, wo diese Schwierigkeiten wirklich unüberwindlich erscheinen. (S. oben S. 203.) Diese treten ein, wenn man sich schon lange Zeit derselben Fliefspapierhülle bedient hat. Man findet alsdann, dafs, was man auch mit den Platten aufstellen möge, die Nadel nicht auf Null zurückkehrt, sondern im besten Falle nur das Zeichen ihrer Ablenkung ändert. Dabei ist es unmöglich, den Grund dieser Störungen herauszubringen. In solchen Fällen bleibt nichts übrig, als die ganze Vorrichtung auseinanderzunehmen, die Platten, welche man alsdann meist mit einer dünnen Schicht kohlensaurer Salze überzogen findet, von Grund aus auf die oben S. 206 beschriebene Weise zu reinigen und auszuglühen, und sie mit einer neuen Bekleidung zu versehen. Nach Zusammensetzung der Vorrichtung zeigen sie sich wieder völlig gleichartig geworden.

## 4. Matteucci's neueres Verfahren bei thierisch-elektrischen Multiplicatorversuchen.

Für das Verständnifs von Matteucci's seit dem Erscheinen des *Essai etc.* veröffentlichten Versuchsreihen, auf die in der Folge häufig Bezug genommen werden wird, ist es nothwendig eine deutliche Vorstellung von seinem neueren Verfahren bei thierisch-elektrischen Versuchen zu haben. Ich schalte demnach eine Beschreibung desselben hier als an dem Orte ein, wo eine vergleichende Beurtheilung anderer Methoden am nächsten zu liegen scheint. Matteucci's eigene Auseinandersetzungen über diesen Punkt findet man an den unten angegebenen Stellen. [1]

Wir wissen bereits, dafs die Grundlage des Verfahrens die Methode des Anlegens ist, deren vielfache Mängel wir auch schon zu würdigen Gelegenheit gehabt haben. Sehen wir zu, wie und in wie weit es Matteucci gelungen ist, diese Uebelstände zu bewältigen.

Die Enden von Matteucci's Multiplicator sind an zwei Platinplatten gelöthet, deren jede, nach Art einer Messerklinge, in ein hölzernes oder knöchernes Heft eingelassen ist. Man findet sie abgebildet

[1] Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 302.* (Stelle I.) — Ibid., Avril 1843. t. VII. p. 425.* — Traité etc. Chap. III. p. 32.* (Stelle II.) — In Betreff der Parallelstellen in den Archives de l'Électricité u. s. w., s. das Verzeichnifs von Matteucci's neueren Arbeiten oben S. 126 ff.

*Traité etc.* pl. I. fig. 9; hier haben sie die Gestalt einer runden Tischmesserklinge; in der erstangeführten Abhandlung heifst es jedoch, dafs sie spitz endeten. (I. p. 302.) Sie sind, vom Heft ab, in dem gröfsten Theile ihrer Länge mit Siegellack-Firnifs überzogen, so dafs, der letzteren Stelle nach, kaum ein Quadratcentimeter von der Oberfläche beider Platten übrig bleibt; nach dem *Traité etc.* p. 36 haben sie 5 — 6$^{mm}$ Breite, und bleiben in eben solcher Ausdehnung frei von Siegellack.

Matteucci kennt sehr gut die Gefahren, mit denen bei den thierisch-elektrischen Versuchen der Beobachter seitens der ursprünglichen Ungleichartigkeiten der metallischen Oberflächen und der Ungleichzeitigkeit der Benetzung bedroht ist. Dem ersteren Umstand begegnet er auf dieselbe Weise wie Fechner und ich selbst, indem er die Platten stets in eine gleichartige Flüssigkeit getaucht hält; es ist wohl nur Vergessenheit, dafs dabei nicht ausdrücklich bemerkt ist, dafs dieselben zugleich zur Kette geschlossen zu halten seien. (I. p. 302. II. p. 41.) Der zweite Punkt, der bei der Methode des Eintauchens ganz aufser Spiel kommt, würde sich bei der des Anlegens vielleicht dadurch unschädlich machen lassen, dafs man die Platten mit einer Fliefspapierhülle versähe, so dafs sie eine Schicht des feuchten Leiters mit sich durch die Luft nähmen. Dies hat jedoch Matteucci, wie es scheint, nicht erwogen und sich damit begnügt, das Anlegen möglichst gleichzeitig auszuführen. Es ist kein Zweifel, dafs sich durch Uebung hierin eine grofse Fertigkeit erwerben läfst. (II. p. 38.) Er hob die Platten aus der Flüssigkeit heraus, tauchte sie mehreremale a tempo wieder ein um sich zu überzeugen, dafs keine Wirkung auf die Nadel entstehe und führte sie dann nach den zu berührenden Stellen der thierischen Theile hin. (I. p. 302. II. p. 41. 42. 55. 56.) Ein Zwischenraum von 2 — 3″ brachte übrigens an seinem Multiplicator einen Ausschlag von 2 — 3° hervor (I. p. 302), eine gar nicht zu verachtende Gröfse, da, bei Matteucci's neuerem Verfahren, der Strom eines einzelnen Frosches die Nadel selten über die ersten zehn Grade hinausführte. (S. unten.) Zugleich besteht Matteucci darauf, dafs die benetzten Oberflächen möglichst gleich seien (I. p. 302. 332. 338. II. p. 36. 38. 50) und giebt dies als einen Grund an, dieselben so äufsert klein zu nehmen (I. p. 302. — Vergl. übrigens oben S. 140.)

Indefs konnte dieser Grund nur für den Fall Geltung haben, der keinesweges ohne Ausnahme stattfand, dafs er die Platten unmittelbar an die thierischen Theile anlegte, wo sie denn in der That, wenn nie ungleich grofse Metallflächen benetzt werden sollten, die kleinste zu berührende Fläche derselben an Ausdehnung nicht übertreffen durften.

Häufig zwar ward auf diese Weise verfahren. (I. p. 304). Oefters auch, wenn die Wirkung der Anordnung zugleich auf physiologischem Wege geprüft werden sollte, wurden, wegen der Kürze des stromprüfenden Nerven, die Enden der thierischen Theile mit Fliefspapierstreifen versehen, welche mit der nämlichen Flüssigkeit getränkt waren, worin die Platten für gewöhnlich tauchten. (I. p. 305. 332. II. p. 64. — S. oben S. 160). In beiden Fällen ruhten die Theile meistens auf einem Stücke Wachstaffent als isolirender Unterlage. (I. p. 303. II. p. 84). Eben so oft aber wurde die Verbindung zwischen den metallischen Multiplicatorenden und den thierischen Elektromotoren in ähnlicher Weise, wie beim Verfahren durch Eintauchen, durch eine eingeschaltete Flüssigkeit vermittelt. Die Gefäfse, deren Matteucci sich hiezu bediente, waren manchmal Porzellanschalen (capsules), am liebsten jedoch die kleinen Fufsgläser, wie sie zu Augenbädern angewandt werden. (I. 302. II. 84. 85). Wenn er, wie wir unten näher erfahren werden, gewisse Theile des Frosches, z. B. mehrere Stücke vom Oberschenkel nach Nobili's Vorgange säulenartig anordnete, geschah dies wohl auch auf einem vierseitigen, gefirnifsten, ziemlich starken Brette, in dessen Dicke mehrere kreisrunde Vertiefungen in verschiedenem Abstande von einander angebracht waren. Die äufsersten Glieder der Reihe befanden sich in der Nähe von zweien der Löcher und wurden von der sie erfüllenden Flüssigkeit bespühlt (II. p. 55. pl. I. fig. 12).

Diese Flüssigkeit war, je nach der gröfseren oder geringeren Empfindlichkeit des Multiplicators, destillirtes Wasser, Flufs- oder Brunnenwasser, oder endlich Wasser, welches etwas weniges Kochsalz aufgelöst enthielt (I. 302. II. p. 55. 57. 84. 85). Die Flüssigkeit, in welche die Platten in den Zwischenzeiten der Versuche tauchten, war beiläufig nicht immer genau dieselbe, wie die der Gläser und Vertiefungen, sondern nur ihr möglichst entsprechend (II. p. 41). In einigen, bereits oben S. 216 angedeuteten Fällen, versuchte Matteucci die Anwendung verschiedener saurer, alkalischer, und salziger Flüssigkeiten.

Offenbar war Matteucci hier durch nichts verhindert, seine Gefäfse, den Querschnitt der darin enthaltenen Flüssigkeit, und mit ihnen die Ausdehnung der Platinenden nach Belieben zu vergröfsern, wie es die Gesetze der Fortpflanzung galvanischer Ströme geboten. Allein er durfte dieses defshalb nicht, weil alsdann die Ströme wegen ungleichzeitigen Eintauchens und gestörter Gleichartigkeit der Platten, so weit diese auf Ladungen beruht, die sich auf denselben entwickeln, den thierisch-elektrischen Strömen über den Kopf gewachsen wären. Aus demselben Grunde durfte er auch keine besser leitende Flüssigkeit in den Gefäfsen anwenden, daher er auch ihre Wahl von der Empfind-

lichkeit des Multiplicators abhängig macht. Es kam ihm nämlich darauf an, dafs die Nadel erst dann den Nullpunkt verliefs, wenn ein so starker Strom in den Windungen kreiste, wie er aus jenen Ursachen nicht hervorgehen konnte; denn erst jetzt hatte er hinreichende Sicherheit, dafs eine wahrgenommene Wirkung nur thierisch-elektrischen Ursprungs sei. Allerdings war er in der Wahl der Leitungsflüssigkeit auch durch den Umstand beschränkt, dafs er sich meist Galvani'scher Präparate mit ihren Nerven und einem Stücke Wirbelsäule bediente, trotz dem, dafs er bereits selbst viel früher nachgewiesen hatte, dafs diese Theile mit der Erzeugung des Froschstromes nichts zu thun haben (S. oben S. 120), und trotz der durch den grofsen Widerstand der Nerven hervorgebrachten Schwächung desselben. Dieser Umstand gebot ihm, die Kochsalzlösung stets auf einer solchen Verdünnungsstufe zu erhalten, dafs dadurch kein Tetanus der Froschglieder hervorgerufen wurde, wie dies, bei reizbaren Thieren, der Fall zu sein pflegt, wenn das Rückenmark dem allmählig vorschreitenden Angriffe stark ätzender Flüssigkeiten preisgegeben ist. Auf den Ausweg, die thierischen Theile durch Umhüllung mit Haut oder Blase vor diesem störenden Einflusse zu schützen, ist Matteucci nicht gekommen. Völlig grundlos ist, wie man sich übrigens von vorn herein denken kann, Matteucci's Behauptung, dafs bei Anwendung gesättigter Salzlösung die Richtung der Ströme schwankend werde, und tausend Unregelmäfsigkeiten zu Tage kommen, wie auch kommen müssen. [1] Diese Behauptung hat nur Sinn für das Verfahren durch Anlegen.

Zwang ihn die Anwendung dieses Verfahrens bereits, die Ohm'schen Gesetze, wenn er sich deren überhaupt deutlich bewufst war, woran zu zweifeln sich mancherlei Anlafs vorfindet, bei der Anordnung seiner Versuche aufser Acht zu lassen: so scheint es gar, als habe die Schwächung, die er auf diese Weise zu erlangen vermochte, für seinen Zweck noch nicht hingereicht. Denn anstatt seinem Multiplicator den höchsten Grad von Empfindlichkeit zu verleihen, dessen er fähig war, liefs er sich vielmehr angelegen sein, dieselbe zu mäfsigen. So berichtet er, dafs während ein äufserst kräftiger, frisch zubereiteter Frosch ihm für gewöhnlich 8 — 12° Ausschlag gab, er bei Anwendung eines besser astatischen Nadelpaares 15 — 20° erhalten habe.

Ein Galvani'sches Präparat von mittlerer Beschaffenheit trieb die

[1] I. p. 338. 2°. »Que ce courant a la même direction en employant pour liquide de l'eau distillée, de l'eau acidulée, de l'eau alcaline, de l'eau salée, pourvu »que ces solutions ne soient pas excessivement concentrées, dans »lequel cas mille anomalies apparaissent et doivent apparaître.«

Nadel nur auf 4 — 5°, wenn er sich der kleinen Gläser bediente; wurden die Nerven aus dem Kreise gelassen, so betrug die Ablenkung 6 — 7°. Berührte Matteucci Füfse und Nerven eines solchen Präparates mit den Platinenden unmittelbar, so erfolgten 8 — 10° Ausschlag (I. p. 303. 304. II. p. 84). Ich füge hier nur beiläufig und vergleichsweise hinzu, dafs ein kleiner Frosch von normaler Beschaffenheit meine Nadeln unfehlbar mit der gröfsten Heftigkeit an die Hemmung wirft.

Man sieht, wie aufserordentlich Matteucci's neueres Verfahren in Hinsicht der Stärke der Wirkungen dem von mir vervollkommneten Nobili'schen, welches er selbst früher befolgte, nachsteht. Auch er erhielt damals, woran er freilich jetzt nicht erinnert, gleich Nobili 25 — 30° von einem einzigen Froschpräparat (S. oben S. 120). Es würde überflüssig sein, hier nochmals die zahlreichen Uebelstände mechanischer Art zurückzurufen, an denen dieses Verfahren leidet. Sie werden aber durch folgende von Matteucci getroffene Einrichtung nicht wenig gesteigert.

Man erinnert sich, dafs Nobili bereits die Verstärkung des Froschstromes durch säulenartige Anordnung mehrerer Frösche bemerkt hatte (S. oben S. 105). Er schlofs damals daraus, dafs das Princip der Säulenbildung auch für die Leiter zweiter Klasse Geltung habe. Der wahre und einzige Schlufs indefs, der daraus gezogen werden mufste, war der, dafs der Widerstand durch Einführung eines zweiten, dritten u. s. w. Frosches in geringerem Mafse vergröfsert wurde, als die Summe der im Kreise thätigen elektromotorischen Kräfte, und dies wiederum heifst nur so viel, dafs der aufserwesentliche Widerstand der Froschkette, d. h. der nicht den thierischen Theilen selbst angehörige, so lange noch nicht gegen den der im Kreise befindlichen Frösche verschwand, als Einführung eines neuen Elementes noch Vergröfserung des Stromes hervorbrachte. Je gröfser also zu Anfang jener aufserwesentliche Widerstand, um so gröfser mufs die Vermehrung der Stromstärke durch Einführung eines zweiten, dritten, .... Elementes ausfallen. Die Vergröfserung wird daher rein im Verhältnifs der eingeführten Elemente wachsen, wenn der Widerstand eines Frosches völlig gegen den aufserwesentlichen Widerstand verschwindet.

In der Zunahme des Froschstromes durch die Anordnung zur Säule findet Matteucci beiläufig abermals einen Beweis gegen die elektrochemische Theorie desselben, welche die Ursache des Stromes in der chemischen Wirkung der Leitungsflüssigkeit auf die thierischen Theile sucht, indem diese Wirkung z. B. in dem Falle, wo innerhalb der Säule nur thierische Theile einander berühren, ihre Endglieder aber in gleichartige Flüssigkeiten tauchen, durch das Einführen neuer Elemente

in den Kreis nicht verstärkt werden könne (I. p. 338. 1°. — II. p. 62. 63).

Da nun die Wirkung eines einzigen Frosches in Matteucci's Kreise im Mittel nur 4—5° betrug, während geringe Fehler in der Gleichzeitigkeit des Eintauchens bereits Ablenkungen von 2—3° hervorbrachten, so griff Matteucci, um jene Wirkung zu verstärken, zu dem freilich einzig übrigen, darum aber nicht minder unbehülflichen Auswege, stets mit Säulen aus mehreren Fröschen zu arbeiten. Diese Säulen wurden entweder nach dem Vorbilde von Volta's »couronne de tasses«[1] so zusammengesetzt, dafs jedes Präparat mit den Füfsen in eines der beschriebenen kleinen Gläschen, mit dem Stücke Wirbelsäule in ein anderes tauchte, in welchem sich die Füfse des nächstfolgenden befanden, während das erstere Gläschen das Stück Wirbelsäule eines dritten enthielt, und die Platinenden in die beiden äufsersten Gefäfse versenkt wurden; oder die Frösche ruhten, der eine mit seinen Füfsen das Stück Wirbelsäule des ihm zunächst liegenden berührend, aneinandergereiht auf Wachstaffent als isolirender Unterlage, und die Platten wurden unmittelbar an Nerven und Füfse des ersten und letzten der Reihe, als Pole der Säule, angelegt. (I. 304. II. p. 84. pl. I. fig. 13. pl. II. figg. 14. 16. 18—23.) Eine Vereinigung beider Verfahren besteht darin, die Enden der letztbeschriebenen Anordnung in zwei Gefäfse tauchen zu lassen. (II. 84.) Für gewisse thierische Elektromotore ward diese Abänderung, mit Anwendung des oben beschriebenen Brettes mit Vertiefungen als isolirender Unterlage, ausschliefslich angewendet (II. p. 55—57). Die Zahl der Frösche, die zu einer Säule zusammengesetzt wurden, betrug gemeiniglich 6—8, häufig auch 10. Bei anderen thierischen Elektromotoren, als Galvani'schen Präparaten, wurden aber in einzelnen Fällen bis zu 12, ja 20 Elemente in Thätigkeit gesetzt (I. p. 317. II. p. 81). — Gab ein Frosch 6° Ausschlag, so gaben 2; 3; 4; 5; 6 Frösche beziehlich 8°; 13°; 18°; 20°; 24° (I. p. 323. II. p. 106); oder gab ein Frosch 4—5°, so gaben drei bis vier Frösche 15—20° (I. p. 304). Acht bis zehn Frösche gaben 30—40° (II. 89) u. s. w.

Wie schwerfällig auf diese Weise die thierisch-elektrischen Versuche unnütz gemacht werden, geht wohl genugsam daraus hervor, dafs ich alle Versuche, welche Matteucci mit Froschsäulen von 6—10 Thieren angestellt hat, mit einem einzigen Gastroknemius vom Frosch ausführen konnte, der meine Nadeln reichlich gegen die Hemmung warf, während Matteucci, trotz des angerichteten Blutbades, doch gewöhnlich nur Wirkungen von höchstens 25° beobachtete. Ich halte es übri-

[1] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. II. p. 106.

gens, wie man sich leicht denken kann, keinesweges für einen Vorzug, 90° Ausschlag statt 25° erfolgen zu sehen, wenn beide Nadelbewegungen zu Schlüssen von gleicher Sicherheit berechtigen; allein man vergesse nicht, dafs, da meine Vorrichtungen bei dieser so sehr viel gröfseren Empfindlichkeit in der That denselben Grad von Sicherheit zuliefsen, als die Matteucci's, ich in Stand gesetzt war, Wirkungen aufzufinden und ihre Gesetze zu ermitteln, von denen Matteucci's Multiplicator auch nicht entfernterweise etwas anzugeben vermöchte.

Die Mühseligkeit zu einem Versuche zehn Frösche statt eines zurichten zu müssen; die Schwierigkeit, welche daraus entspringt, dafs eine Bedingung, deren Einflufs erforscht werden soll, statt einmal, zehnmal verwirklicht werden mufs; die daraus folgende Vervielfältigung der Fehlerquellen und die erhöhte Versteckheit ihres Sitzes; die Unmöglichkeit, gewisse Versuche mit so verwickelten und räumlich ausgedehnten Anordnungen vorzunehmen, also z. B. eine ganze Froschsäule gleichzeitig zur Zusammenziehung zu bringen, woran denn auch Matteucci's Bestreben gescheitert ist, den Zustand des Stromes während derselben zu erforschen: alle diese Mängel liegen so auf der Hand, dafs es nur der Andeutung derselben bedarf, um die Untauglichkeit der Methode einleuchten zu machen, als deren folgerechte Consequenzen sie sich herausstellen. Schwerlich wird man der Meinung sein, dafs Matteucci besonders glücklich in seinen Bemühungen gewesen, wenn er in einer seiner neuesten Mittheilungen, wo er gar nicht mehr anders als mit zwanziggliedrigen Säulen verfährt, die ihm nun übrigens wirklich 90° Ausschlag und im Mittel 20° beständige Ablenkung geben, sagt: »From the commencement of my studies on this subject, my »principal aim has always been to reduce the experiments of electro-phy»siology to the simplest possible form« ....[1] Und später werden wir erfahren, wie die meisten dieser Mängel sich in Matteucci's Versuchen fast immer noch dadurch verdoppelten, dafs er statt einer, zwei Säulen anwandte, die er einander, behufs der Methode der Compensation, entgegenwirken liefs; dann werden wir auch sehen, was er unter einem mittleren Froschstrom, courant moyen, verstanden wissen will (I. p. 306).

[1] Philosophical Transactions etc. For the year 1845. p. II. p. 283.

## §. IV.

## Von der allgemeinen Erscheinungsweise der thierisch-elektrischen Ströme am Multiplicator.

### 1. Schema eines thierisch-elektrischen Versuchs.

Die Erscheinungsweise der thierisch-elektrischen Ströme am Multiplicator ist ganz die nämliche, die man bei Einschaltung einer Kette aus mehreren flüssigen Leitern von beträchtlichem Widerstande zwischen gleichartige Flüssigkeitsmassen, in welche breite, leicht polarisirbare Elektrodenflächen tauchen, oder eines Voltameters mit ziemlich ausgedehnten Platinenden in den Kreis einer schwachen Säure-Alkalikette wahrnehmen würde.

Das Schema eines thierisch-elektrischen Versuches an meiner Vorrichtung ist folgendes. Die Multiplicatornadel wird durch den Berichtigungsstab auf Null oder nahezu auf Null gehalten. Die Vorrichtung, in dem S. 222 beschriebenen, Fig. 12 dargestellten Zustande, oder, wenn ohne Bäusche gearbeitet wird, mit einem der Schliefsungsrohre (S. 219, Fig. 7) zwischen den Zuleitungsgefäfsen, steht, anfangs mit Ausschlufs des Multiplicators, geschlossen. Man nimmt denselben in ihren Kreis auf; es darf keine Ablenkung der Nadel entstehen, und ein Versuch darf nur dann angestellt werden, wenn selbst nach so langem Offenstehen der Kette, dafs dieselbe währenddem mit den thierischen Theilen bequem hätte geschlossen werden können, keine oder nur eine so geringe Wirkung auf die Nadel bemerkbar wird, dafs sie gegen die durch den thierisch-elektrischen Strom zu gewärtigende völlig verschwindet. Wenigstens ist diese Regel dann zu beobachten, wenn es sich um das Vorhandensein oder die Gröfse und Richtung sehr schwacher Ströme handelt; etwas anderes ist es in dem Falle, wo eine beständige Ablenkung abgewartet und dann der Einfluſs einer neu in den Versuch eingeführten Bedingung auf den Strom untersucht werden soll. Alsdann kann, wie man leicht sieht, eine bereits vorhandene beständige Ablenkung nur insofern schadenbringend sein, als sie, was natürlich nicht vorkommen wird, grofs genug wäre, um die Nadelbewegung, welche die Folge der eingeführten Bedingung sein soll, so weit vom Nullpunkte hin zu verlegen, dafs der einem bestimmten Unterschiede der Stromstärken entsprechende Gradbogen bereits merklich kleiner ausfiele, als in der Umgebung desselben. Sind diese Bedingungen erfüllt, so entfernt man den Schliefsungsbausch, bekleidet die Zuleitungsbäusche

an zwei einander gegenüberstehenden Enden mit den Eiweifshäutchen (S. 223), welche bereits seit geraumer Zeit eingeweicht sein müssen, und schliefst die Kette wieder mittelst des Schliefsungsbausches, um von der ungestörten Gleichartigkeit der Vorrichtung überzeugt zu sein. Nun entfernt man abermals Schliefsungsbausch oder -Rohr, und überbrückt den Raum zwischen den Zuleitungsgefäfsen oder den mit den Eiweifshäutchen überzogenen Stellen der Zuleitungsbäusche mit den thierischen Theilen. Die besondere Art, wie dies für die verschiedenen thierischen Elektromotore geschehen mufs, wird natürlich später mehrfach Gegenstand der Erörterung werden. Diese Handlung wollen wir stets mit dem Namen des Auflegens bezeichnen. Die erste nun folgende Nadelbewegung wird als Ausschlag der Gröfse und Richtung nach verzeichnet. Beabsichtigt man eine beständige Ablenkung der Nadel, so läfst man sie zur Ruhe kommen, was, der starken Ladungen halber, die sich sogleich auf den metallischen Multiplicatorenden entwickeln, viel tiefer stattfindet, als man dem Ausschlage nach zu glauben geneigt sein möchte. Meistens wird es dabei erwünscht sein, dafs der feste Gleichgewichtszustand möglichst früh eintrete, damit weder das Salz in den Eiweifshäutchen zu stark vordringe, noch die thierischen Theile, wenn man ohne Bäusche arbeitet, zu sehr von der Salzlösung angegriffen werden, noch endlich, was am wichtigsten ist, ihre Leistungsfähigkeit während des längeren Aufliegens zu sehr abnehme. Man benutze daher das Beruhigungsstäbchen (S. 192), um die Nadel möglichst bald stillestehen zu machen; die Polarisation ist zwar alsdann noch im Wachsen begriffen, indessen geschieht dies nicht mehr schnell genug, um Schwingungen der Nadel nach sich zu ziehen. Ist die Nadel zur Ruhe, so lasse man die fragliche Bedingung auf den thierischen Elektromotor einwirken und beobachte den Erfolg an dem Multiplicator; fernere allgemeine Bemerkungen finden hier natürlich ihre Grenze. Ist die Wahrnehmung vollendet, oder sollte keine beständige Ablenkung abgewartet werden, so entferne man, sowie man Gröfse und Richtung der Wirkung aufgefafst hat, den Elektromotor möglichst schnell, damit er nicht unnütz Ladungen entwickele, aus der Kette. Legt man nun, statt des thierischen Theiles, den Schliefsungsbausch auf, so erfolgt ein Ausschlag in dem entgegengesetzten Sinne von dem ursprünglichen Strom. Dieser gehört eben den mehrerwähnten Ladungen an, von denen es jetzt an der Zeit ist, ihre Bedeutung in dem hier in Rede stehenden Kreise von Erscheinungen etwas näher ins Auge zu fassen.

## 2. Von der Polarisation in den thierisch-elektrischen Multiplicator-Versuchen.

Eine grofse Anzahl von Thatsachen hat sich in neuerer Zeit zusammengefunden, aus deren Vereinigung mit vieler Wahrscheinlichkeit hervorgeht, dafs kein feuchter Leiter einen Strom fortzuführen vermöge, ohne dadurch zugleich auf allen Punkten der durchlaufenen Strecke zersetzt zu werden. Die elektropositiven Bestandtheile seiner Elemente verbinden sich dabei mit den elektronegativen der in der Richtung des positiven Stromes auf sie folgenden zusammengesetzten Molekeln; das Entgegengesetzte findet für die elektronegativen Bestandtheile statt, und so kommt es, wie bekanntlich v. Grotthuss zuerst eingesehen hat, [1] dafs sich an der Eintrittsstelle des Stromes in die Flüssigkeit die letztere, an der Austrittsstelle hingegen die erstere Art von Bestandtheilen, je nach der Natur dieser Theile und der festen, in die Flüssigkeit tauchenden Leiter, mit diesen verbunden oder frei vorfinden. Diese frei vorhandenen Zersetzungsstoffe, oder die durch dieselben mannigfach veränderten Elektroden, können nun nicht umhin, abermals elektromotorisch zu wirken, eine Wirkung, die sowohl bereits während der Dauer des Stromes selbst, als auch, wenn die Elektroden unter sich zur Kette geschlossen bleiben, eine Zeitlang nach Aufhebung desselben stattfinden mufs. Elektroden, welche auf diese Weise, in Folge eines sie durchlaufenden oder durch sie hindurchgegangenen primären Stromes, einen secundären Strom entwickeln, nennt man geladen oder polarisirt; ihren Zustand den der Ladung oder Polarisation.

Dies ist das Allgemeinste, was sich von der Polarisation sagen läfst. Man könnte hinzufügen, dafs die elektromotorische Wirkung der Zersetzungsstoffe wie der durch sie veränderten Elektroden stets die entgegengesetzte Richtung von der des primären Stromes habe, wenn es nicht einzelne höchst räthselhafte Fälle gäbe, in denen eine Ausnahme von diesem Gesetze bemerklich wird, über die es aber zur Stunde fast noch an jeder Aufklärung gebricht. [2]

[1] Annales de Chimie. 1806. t. LVIII. p. 54. (Rom, 1805). — Physisch-chemische Forschungen von Theodor v. Grotthuss. Bd. I. Nürnberg 1820. 4°.

[2] Vergl. Bertz, in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1844. Bd. LXIII. S. 415. — Martens in Mémoires de l'Académie royale des Sciences de Bruxelles. 4°. t. XIX. (5 avril 1845) — Bertz in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1846. Bd. LXVII. S. 365. — Die Beobachtungen von Bertz und Martens beziehen sich auf Eisen; ich habe aber auch bei amalgamirtem Zink verkehrte Polarisation beobachtet. S. unten, 3. Abschn., Kap. III. §. II. 3.

In der durchgreifenden Mehrzahl der Fälle indessen hat dieses Gesetz nichtsdestoweniger Geltung, und so verstand schon VOLTA [1] die RITTER'sche Ladungssäule aus der elektromotorischen Gegenwirkung der beziehlich an beiden Flächen der feuchten Zwischenplatten derselben angehäuften sauren und alkalischen Bestandtheile der sie tränkenden Salzlösung. In neuerer Zeit ist man jedoch darauf aufmerksam geworden, dafs es vorzugsweise die Zersetzungsprodukte des Wassers, und zwar unter diesen wieder vorwiegend der Wasserstoff sei, dem der secundäre Strom zugeschrieben werden müsse. Deshalb erweist sich auch, wegen der gröfseren Adhäsion zwischen den gasförmigen Elementen des Wassers und dieser Gruppe von Metallen, die Einschaltung von Kupfer-, Silber-, Gold-, vollends Platinelektroden in eine Kette stärker schwächend als die solcher von Zink, Zinn, Eisen u. s. f.; die ersteren polarisiren sich leichter als die letzteren, ein Umstand, auf den schon früher einmal Bezug genommen wurde (S. oben, S. 141). Auf der Einsicht in diese Verhältnisse beruht ferner gröfstentheils die Erfindung der Ketten von beständiger Kraft, diese unschätzbare Bereicherung unserer elektrischen Geräthschaft; es sind solche, in denen eine Einrichtung getroffen ist, vermöge welcher der Wasserstoff an der negativen Elektrode, statt frei zu werden, wieder zu Wasser oxydirt wird. Auch mag hier, weil sie später für uns von Interesse werden wird, der GROVE'schen Gasbatterie gedacht werden, welche eine künstliche, d. h. ohne Dazwischenkunft eines primären Stromes, dadurch erhaltene Ladungssäule ist, dafs die sie paarweise zusammensetzenden Streifen Platinblech beziehlich in eine Sauerstoff- und Wasserstoffatmosphäre getaucht und an ihrer Oberfläche mit einer Schicht feuchten Platinschwammes bekleidet sind. [2]

Innerhalb der Kette selbst, deren primärer Strom sie hervorrief, giebt sich die Polarisation begreiflich nicht durch einen Strom, sondern eben durch die Schwächung des primären zu erkennen. Man findet jedoch, dafs dieser nur bis zu einer gewissen Grenze sinkt; jeder Strom vermag nur eine Polarisation von einer gewissen Stärke zu erzeugen und zu erhalten. Sinkt mithin plötzlich die elektromotorische Kraft des primären Stromes, so entspricht ihr nur noch eine geringere Gröfse der Ladungen, ein Theil derselben findet sich in Freiheit gesetzt, und wenn ein Multiplicator in den Kreis eingeschaltet ist, so summiren sich die Wirkungen der nicht mehr völlig aufgewogenen Erdkraft und

[1] GILBERT's Annalen der Physik. 1805. Bd. XIX. S. 490. Bd. XXI. S. 133.

[2] POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 202; SCHÖNBEIN ebendas., S. 361; — 1844. Bd. LXII. S. 220.

jenes nunmehr sich abgleichenden Gegensatzes der Zersetzungsstoffe auf die Nadel zu einem Ausschlage derselben, der sich bis in den negativen Quadranten, ja in diesem über die ursprüngliche Gleichgewichtsstellung der Nadel im positiven Viertelkreise hinaus erstrecken kann. Dabei sinkt die Polarisation bis zu dem Grade, der dem neuen Zustande der Stromstärke entspricht. Einen lehrreichen Versuch in dieser, wie sich später zeigen wird, [1] für uns wichtigen Beziehung, hat Poggendorff angestellt, indem er eine Daniell'sche Kette und ein durch eine Grove'sche polarisirtes Platinplattenpaar einander entgegenwirken liefs. Er fand, dafs während anfangs das letztere die Wirkung der ersteren gänzlich überwand, die Nadel doch allmählig durch den Nullpunkt zu Gunsten dieser wiederkehrte. Dasselbe zeigte sich bei Entgegensetzung einer Grove'schen Kette und einer nach seiner Erfindung mittelst der Wippe geladenen secundären Säule von 4, 3 oder 2 Plattenpaaren. [2] Die Folge wird lehren, dafs ganz der nämliche Vorgang durch plötzliches Discontinuirlichwerden oder Intermittiren der Elektricitätsquelle in kurzen Zwischenräumen herbeigeführt wird. [3]

Wenn es richtig ist, dafs in feuchten Leitern keine Leitung ohne Zersetzung vor sich gehen könne, so ist es, bei der grofsen Fortpflanzungsgeschwindigkeit galvanischer Ströme, an und für sich klar, dafs ein sehr kleiner Zeitraum zur Entwickelung der ersten Spuren der Polarisation hinreichen müsse. Wirklich hat auch Henrici Polarisation nach dem so kurze Zeit dauernden Schlage der Kleist'schen Batterie nachgewiesen. [4] In diesem augenblicklichen Erscheinen der Polarisation nach dem Schliefsen der Kette liegt jedoch nichts, was zugleich eine plötzliche Entwickelung derselben in aller Stärke bedingte, und in der That würde schon die Betrachtung der allmähligen Wirkungsabnahme einer Säule von unbeständiger Kraft zu der Vorstellung eines dauernden Wachsens der Ladungen bis zu einer gewissen Grenze der Zeit und der Stärke berechtigen, selbst wenn nicht Poggendorff diese, so wie mehrere andere wichtige Wahrheiten, auf das sinnreichste mittelst seiner Wippe und des Verfahrens der Compensation unmittelbar dargethan hätte. [5]

[1] S. unten, 3. Abschn., Kap. IV. §. III.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1844. Bd. LXI. S. 607.*

[3] S. unten, ebendas., §. IV.

[4] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVI. S. 585. Bd. XLVII. S. 431.* — Dove's Repertorium der Physik. Bd. VI. 1842. S. 150.* — Schönbein in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LIX. S. 243.* — Becquerel in Comptes rendus etc. 9 Mars 1846. t. XXII. p. 381.* — Riess in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1846. Bd. LXIX. S. 155.*

[5] Ebendas., 1844. Bd. 1844. Bd. LXI. S. 586.*

Die Stärke der Polarisation hat übrigens, wie sich leicht denken läfst, eine absolute Grenze, über welche hinaus eine Verstärkung des primären Stromes keine Vergröfserung derselben mehr nach sich zieht. Diese Grenze ist von Daniell zu 2.85; 2.49 mal die elektromotorische Kraft eines seiner Elemente, von Wheatstone zu 2.33 mal die eines der seinigen bestimmt, von Poggendorff gar auf das Doppelte geschätzt worden.[1] Nach Lenz würde, bei primären Stromstärken, welche die Polarisation bis zu dieser äufsersten Höhe zu treiben vermögen, dieselbe zugleich augenblicklich in ihrer ganzen Stärke erscheinen.[2]

Die Abhängigkeit der Ladungen von der Dichtigkeit des primären Stromes in der Elektrodenfläche, vermöge welcher sie bis zu einer gewissen Grenze in einem umgekehrten Verhältnisse zu der Gröfse derselben stehen,[3] ist (nebst dem ähnlichen Verhalten des problematischen Uebergangswiderstandes) der Grund gewesen, weshalb wir den Platinenden unserer Vorrichtung eine möglichst grofse Ausdehnung ertheilt haben.

Während des Stromes, der nach Aufhebung des primären, aber bei dauerndem Schlusse der Elektroden zur Kette, die Folge der Polarisation ist, nimmt dieselbe an Stärke ab, und verschwindet endlich völlig, natürlich jedoch um so später, je stärker der primäre Strom war und je länger er, innerhalb gewisser Grenzen, gedauert hat; aufserdem aber auch, in Uebereinstimmung mit dem Fechner'schen Gesetze (S. 207), einen je gröfseren Widerstand der Kreis darbietet, in dem die Entladung stattfinden soll. Läfst man daher die geladenen Platten ganz offen stehen, so nimmt wohl die Wirkung an Stärke ab, die man nachmals beim Schliefsen erhält, allein aufserordentlich viel langsamer, als wenn man den Ladungen Gelegenheit zur Abgleichung giebt.

Der vermindernde Einflufs, den die Erschütterung der negativen Elektrode auf die Polarisation äufsert, ist oben (S. 212) schon angedeutet worden; es wird, wie bemerkt, an einer späteren Stelle noch die Rede davon sein. Auch von der ähnlichen Wirkung der Aufhebung des Luftdrucks werden wir, im Laufe unserer eigenen Versuche, genaue Kenntnifs zu nehmen nöthig finden.[4] Gleich derselben, nämlich die relative Spannkraft der gefesselten Gase erhöhend, und dadurch die Ladungen schwächend, wirkt Steigerung der Temperatur.

Ein fernerer Punkt, den ich hier ebenfalls nur andeuten will, da

[1] Ebendas., 1843. Bd. LX. S. 389. 390. — 1844. Bd. LXI. S. 614; — Bd. LXII. S. 521.

[2] Ebendas., 1843. Bd. LIX. S. 419.

[3] S. vorzüglich Lenz, ebendas., S. 407.

[4] S. unten, 3. Abschn., Kap. V. §. III. 4.

wir uns nachmals ausdrücklich mit ihm zu beschäftigen haben werden, ist die Fähigkeit auch gewisser feuchter Leiter, Ladungen nach Art der Metalle anzunehmen. [1] Endlich werden wir, im Laufe unserer Versuche, auf eine ganz neue Art der Polarisation geführt werden, welche, ihrer Richtung nach, der gewöhnlichen Polarisation entgegengesetzt und in ihrem Wesen wahrscheinlich sehr davon unterschieden, nur den noch im Besitze ihrer Lebenseigenschaften befindlichen Muskeln zukommt. [2]

Die Ladungen werden uns, wie man zum Theil schon hat ersehen können, in der Folge noch häufig, und zwar unter den wichtigsten Beziehungen, entgegentreten. Ich habe deshalb geglaubt, dafs ein kurzer Ueberblick des Wissenswürdigsten aus ihrem Gebiete an dieser Stelle dem physiologischen Leser nicht unwillkommen sein würde, um so mehr, als dasselbe gerade jetzt noch zu sehr in einem neuen Aufschwunge seiner Entwickelung begriffen ist, als dafs es dafür schon wieder eine Zusammenstellung der Art geben könnte, wie sie für die älteren Erfahrungen in Fechner's oft erwähntem *Lehrbuche* u. s. w. Kap. XXIII. S. 269 * vorliegt. In Betreff der jüngeren Leistungen sind daher die Originalarbeiten, grofsentheils in Poggendorff's *Annalen*, nachzusehen. Ich habe übrigens bei jenem Ueberblick die nähere Theorie der Erscheinungen selbst, wie auch die zarte Frage von dem Uebergangswiderstande ganz oder so viel wie möglich aus dem Spiel gelassen, da sie hier von keiner Wichtigkeit sind, und eine kurze Erörterung derselben in ihrem heutigen Zustande mehr verwirren als aufklären dürfte. —

Wir haben oben unsere Vorrichtung in dem Augenblick verlassen, wo, nach Entfernung des thierischen Elektromotors und Auflegen des Schliefsungsbausches oder -Rohres an seine Stelle, der Ausschlag der Nadel durch die in Freiheit gesetzten Ladungen erfolgte. Es verdient bemerkt zu werden, dafs dies nach jedem auch dem schwächsten Strome der Fall war, den ich noch an meinem Multiplicator beobachten konnte. Dafs dabei die Stärke der secundären Wirkung sich der des primären Stromes proportional zeigte, bedarf keiner Erwähnung; diese Stärke ist aber aufserdem abhängig von dem Widerstande des nach Entfernung des thierischen Elektromotors mittelst des Schliefsungsbausches oder -Rohres vervollständigten Kreises. Es ist daher deutlich, dafs sie, bei einem gewissen Verhältnifs dieses Widerstandes zu dem der thierischen Theile, der des primären Stromes nicht nur gleichkommen, sondern dieselbe sogar übertreffen kann, wie dies bereits Fechner gleichfalls

[1] S. unten, Kap. II. §. III. 2. (VI) B. a. γ.

[2] S. unten, 3. Abschn., Kap. VIII. §. II. III.

eingesehen und beobachtet hat. [1] Auch von der Abhängigkeit der Ladungen von der Dauer des ursprünglichen Stromes innerhalb gewisser Grenzen habe ich mich auf das bestimmteste überzeugt.

Der Ausschlag der Ladungen hinterläfst eine beständige Ablenkung und die Vorrichtung ist dadurch augenblicklich unbrauchbar gemacht. Wir wissen bereits, dafs dieser Uebelstand seine Beseitigung selber mit sich bringt; nach kürzerer oder längerer Zeit hat die Nadel ihre ursprüngliche Stellung erreicht. Nichtsdestoweniger würde daraus ein grofser Zeitverlust entstehen, namentlich wenn die Ströme stark sind und beständige Ablenkungen durch dieselben abgewartet werden müssen. Indessen gilt, obschon sie in langsamem Abnehmen begriffen ist, von jener Ungleichartigkeit dasselbe, was oben S. 234 von zufälligen, der Vorrichtung innewohnenden Fehlern dieser Art gesagt wurde. Nur in seltenen Fällen wird es darauf ankommen, dafs die Nadel unmittelbar von ihrer ersten Gleichgewichtslage ihren Ausgang nehme, und vollends gleichgültig ist dies dann, wenn eine beständige Ablenkung abgewartet werden soll, da, wenn man den Elektromotor in derselben Richtung wie vorher auflegt, er doch alsbald die Polarisation wieder in die Höhe treibt und, wenn jene Richtung verkehrt wurde, auch die der Ladungen sogleich ihr Zeichen ändert: dies alles freilich unter der Voraussetzung, dafs der neue Strom den der sich abgleichenden Ladungen um eine gewisse Gröfse übertrifft.

Die Ladungen bieten demnach nur einen sehr geringen Nachtheil dar; ja sie sind im Stande, vermöge der vollkommenen Regelmäfsigkeit ihres Auftretens nach jedem, auch dem schwächsten Strome, der die Kette durchläuft, manchen nicht unerheblichen Dienst zu leisten. Vor Allem stehen sie erstens stets als sichere Bürgen da, dafs die beobachtete Wirkung in der That von dem eben entfernten Elektromotor herrührte. Denn man sieht ein, dafs wenn diese Wirkung auf einer zwischen der Zeit der letzten Prüfung der Vorrichtung auf ihre Gleichartigkeit und der des Auflegens entstandenen Ungleichartigkeit beruht hätte, die thierischen Theile selbst aber unwirksam gewesen wären, die Richtung des Ausschlages beim nachmaligen Schliefsen mit dem dazu bestimmten Rohr oder Bausche nicht leicht die entgegengesetzte von der zuerst beobachteten würde sein können. Durch Uebung lernt man die Gröfse des Ausschlages ungefähr ermessen, den man von den Ladungen nach einer bestimmten primären Stromeswirkung zu gewärtigen hat, von wie vielen Umständen auch diese Gröfse abhängig sei. So deuten unverhältnifsmäfsig starke oder unerwartet schwache Ladungen

[1] Ueber die Becquerel'sche Kette u. s. w. A. a. O. S. 18. Anm.

auf irgend etwas, was nicht in der Ordnung ist. Es ist daher in den folgenden Untersuchungen nicht ein Multiplicatorversuch erwähnt, bei dem nicht, nach Wahrnehmung der ursprünglichen Wirkung, noch die der Ladungen auf das genaueste berücksichtigt worden wäre. Dies sind beiläufig lauter Vortheile, deren man sowohl bei der Methode des Anlegens, wo die Polarisationswirkungen wieder mit den Strömen wegen ungleichzeitigen Eintauchens u. s. w. zusammengerathen, als beim Gebrauch feuchter Brücken von veränderlichem Widerstande zwischen den Zuleitungsgefäfsen (Baumwollen- oder Asbestdochten) verlustig geht (S. oben S. 219).

Eine gewöhnliche Art, sich von der Aechtheit der beim Auflegen eines Elektromotors beobachteten Wirkung zu überzeugen, besteht auch darin, denselben später umzulegen, d. h. in verkehrter Richtung aufzulegen; die Wirkung mufs alsdann gleichfalls ihr Zeichen ändern. Man kann sich aber zugleich des Umlegens und des Ausschlages der Ladungen bedienen, um sehr schwache Ströme deutlicher sichtbar zu machen, indem man nämlich das Umlegen ausführt, ohne den Ladungen vorher weder Zeit zu lassen, sich bei offenstehender Kette zu schwächen, noch Gelegenheit zu bieten, sich in der mittelst eines unwirksamen feuchten Leiters, des Schliefsungsrohres u. s. f. geschlossenen abzugleichen. Alsdann summiren sich die Wirkungen des secundären und des primären Stromes auf die Nadel zu einem viel gröfseren Ausschlage, als der erste war; um so mehr, als bei der grofsen Schwingungsdauer des Nadelpaars, das Umlegen leicht so schnell geschehen kann, dafs der vereinigte Stofs beider Ströme dasselbe noch auf seinem Rückschwung in der Gegend des Nullpunktes antrifft. Noch steigern läfst sich die Empfindlichkeit dieses Mittels, wenn man vor dem Umlegen nicht erst die beständige Ablenkung durch den Strom abwartet, sondern dasselbe sogleich während des ersten Rückschwunges der Nadel vollführt, und so mit Umlegen während jeder einzelnen Schwingung fortfährt. Der genaue Ort, wo die Nadel sich beim Umlegen in ihrer Bewegung befinden müfste, damit auf diese Weise die gröfstmögliche Wirkung erreicht würde, möchte nicht leicht zu ermitteln sein. Es erinnert dieser Kunstgriff übrigens an den bei Inductionsversuchen gebräuchlichen, wo man auch in Uebereinstimmung mit den Nadelschwingungen die Kette öffnet und schliefst, oder den Magneten bewegt; ich habe ihn hier ins Gedächtnifs rufen wollen, weil er uns später, in etwas anderer Gestalt, von Wichtigkeit sein wird.

Schliefslich hier gegen eine Täuschung zu warnen, zu denen die Ladungen Anlafs geben können, möchte beinahe überflüssig sein. Es versteht sich nämlich von selbst, dafs man, aus der Stromabnahme im

Multiplicator, in keiner Weise auf das Gesetz derselben in den thierischen Ketten selbst schliefsen darf, indem die erstere in der That fast einzig und allein auf Rechnung der Polarisation kommt. Dieses Gesetz mufs vielmehr hier aus der Gröfse der nacheinander, und nach völliger Entladung der metallischen Multiplicatorenden, an der Nadel erhaltenen Ausschläge ermittelt werden. Die Folge wird lehren, dafs die thierischen Elektromotore als Ketten von ziemlich beständiger Kraft zu betrachten sind. Daher der anfangs angestellte Vergleich unserer Vorrichtung, wenn sie in Thätigkeit ist, mit einer aus einem Voltameter und einer constanten Kette zusammengesetzten Anordnung. Die thierischen Theile sind die constante Kette, die Platinenden stellen das Voltameter vor. Um aber ein nicht durch die Ladungen getrübtes Bild von dem wirklichen Gange der Stromstärke nach dem Tode zu gewinnen, wird es, wie man leicht sieht, nur nothwendig sein, in der thierischen Kette die Bedingungen wo möglich einer constanten Combination allein walten zu lassen. Dies kann geschehen, indem man, statt der Salzlösung mit darin tauchenden Platinenden, eine geeignete Metallsalzlösung, deren Metall sich gut galvanoplastisch niederschlägt, mit Elektroden aus demselben Metalle anwendet: schwefelsaure Kupferoxydlösung mit Kupfer-, Cyansilberkaliumlösung mit Silberelektroden. Der Wasserstoff, den der Strom an der negativen Platte ausscheidet, wird zum Reduciren des sich niederschlagenden Metalls, der Sauerstoff zur Oxydation des sich auflösenden Metalls der positiven Elektrode verwendet; es sind keine Ladungen mehr in merklichem Mafsstabe vorhanden, der erste Ausschlag, vorzüglich aber die hinterbleibende, nun wirklich beständige Ablenkung müssen aufserordentlich vergröfsert erscheinen, und die Abnahme letzterer, wenn eine solche stattfindet, wird ein treues Bild der Abnahme der elektromotorischen Kraft der thierischen Theile liefern. Von den Vortheilen, welche diese Art, die thierisch-elektrischen Ströme abzuleiten, zu gewähren geeignet ist, mag hier nur noch der angeführt werden, dafs sie dienen kann, diese Ströme auch an ungleich weniger empfindlichen Multiplicatoren, als der bei Anwendung polarisirbarer Elektroden vorausgesetzten, bemerklich zu machen.

### 3. Von der Methode der Compensation.

Die schon mehrerwähnte Methode der Compensation oder der Entgegensetzung zweier Elektromotore, deren Wirkungsgröfse verglichen werden soll, beruht auf Folgendem. Man läfst die beiden Ketten in einem und demselben Kreise einander entgegenwirken. Da beide elektromotorische Kräfte dabei denselben Widerstand zu über-

winden haben, so erfährt man unmittelbar das Verhältnifs derselben, welches beim Vergleich ihrer vereinzelten Wirkungen durch den Unterschied in dem Nenner der Ohm'schen Formel in den meisten Fällen nur getrübt zum Vorschein kommen würde. Zwei Elektromotore einander compensiren lassen, heifst also, im Sinne jeder Formel zu reden, gewissermafsen nichts anderes, als die Brüche, welche das Mafs ihrer Wirkung abgeben, experimentell auf einen gemeinschaftlichen Nenner bringen. Sind die elektromotorischen Kräfte gleich, so bleibt die Nadel eines in den gemeinschaftlichen Kreis eingeschalteten Multiplicators auf Null; werden sie dann, in Folge einer neu eingeführten Bedingung, welche man aber nur den einen Erreger treffen läfst, ungleich, so zeigt die Richtung des Ausschlages leicht, auf welcher Seite die Oberhand ist. Keine Veränderung des Widerstandes vermag jemals diese Wirkung hervorzubringen. Genau genommen scheint dieses Verfahren nur brauchbar, wenn man eine stromprüfende Vorrichtung hat, welche zugleich die Richtung der Wirkung anzeigt; indessen wird man bei jeder besonderen Gelegenheit leicht Kunstgriffe ausfindig machen können, durch welche dieser Mangel ersetzt wird, wie dies z. B. Dove beim Gebrauch des physiologischen Rheoskops in magneto-elektrischen Inductionsversuchen gethan hat. [1]

Die Elimination des Widerstandes durch die Methode der Compensation ist einer ihrer wesentlichsten Vorzüge, und auf dieselbe gründet sich z. B. Fechner's noch unwiderlegtes Experimentum crucis gegen die chemische Hypothese von dem Ursprunge des elektrischen Stromes. Sie ist aber im Grunde nur als ein besonderer Fall des allgemeinen Vortheils zu betrachten, den diese Methode zu gewähren geeignet ist, und der folgendermafsen ausgesprochen werden kann: Jedesmal, dafs, aufser der Bedingung, deren Einflufs auf den Elektromotor erforscht werden soll, sich noch andere Bedingungen einfinden, welche auf denselben einwirken, sei es, dafs man selbst genöthigt ist, diese Bedingungen hinzuzutragen, sei es, dafs die Natur der Dinge sie mit sich bringt; und es sind dieselben von Versuch zu Versuch dergestalt veränderlich, dafs man zu fürchten hat, dafs ihr Einflufs den der Hauptbedingung, welche Gegenstand der Beobachtung ist, merklich verdecken oder trüben wird: in einem solchen Falle ist die Methode der Compensation stets im Stande, den letzteren Einflufs klar und ungestört hervortreten zu lassen, indem man nämlich die übrigen Bedingungen in gleicher Weise auf den zweiten Elektromotor einwirken und so ihre Einflüsse auf beide einander gegenseitig aufheben läfst.

[1] Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität u. s. w. S. 23. 24.

Ohne die Methode der Compensation müfste man, in diesen Fällen, stets zwei Versuche mit einem Elektromotor anstellen, den einen unter dem Einflufs der zu erforschenden Bedingung, und den anderen, um den zeitigen Stand der veränderlichen Bedingungen zu erfahren, und man müfste Sorge tragen, dafs sich diese, von einem Versuch zum andern, möglichst wenig verändern. Mit Hülfe der Methode spart man also die Hälfte der Versuche, indem man nichtsdestoweniger an Sicherheit gewinnt.

Beim Gebrauch des Multiplicators als stromprüfenden Mittels ist endlich noch eines ferneren Vorzuges zu gedenken. Einer und derselben Veränderung der elektromotorischen Kraft, welche durch die zu erforschende Bedingung hervorgebracht wird, kann ein gröfserer Winkelwerth entsprechen, wenn die Nadel, bei der Methode der Compensation, vom Nullpunkt ausschlägt, als wenn ihre Bewegung, bei Beobachtung an nur einem Elektromotor, in den höheren Gegenden der Theilung vor sich geht. Ob dies in der That stattfinde, hängt davon ab, ob die Nadelbewegung, welche der Veränderung entspricht, durch den gröfseren Widerstand weniger als durch die Verlegung derselben in die höheren Breiten der Theilung geschwächt werde. Etwas Aehnliches findet übrigens auch bei der physiologischen Prüfung, sowohl der subjectiven am menschlichen Körper, als der objectiven am Froschpräparate statt. Denn es ist ungleich leichter zu sagen, ob man überhaupt etwas empfinde oder nicht, oder ob eine schwache Empfindung sich steigere oder noch mehr abnehme, als für die Gleichheit oder einen geringen Unterschied äufserst heftiger Empfindungen aufzukommen; und ebenso läfst sich am Froschpräparate viel leichter über Zuckung und Ruhe, oder über Steigerung schwacher Zuckungen, als über Veränderung sehr starker Zuckungen innerhalb enger Grenzen urtheilen.

Man wird sich diese verschiedenen Punkte leicht deutlich machen können, wenn man mit Rücksicht darauf die vornehmsten Anwendungen erörtert, die der Methode der Compensation bereits zu Theil geworden sind: sie sind im Vorhergehenden bereits sämmtlich erwähnt worden, Fechner's Experimentum crucis nämlich, [1] Dove's Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität, endlich Poggendorff's Arbeiten über die Polarisation der Elektroden. [2]

Matteucci [3] und ich selbst [4] haben dieselbe fast gleichzeitig und

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1837. Bd. XLII. S. 481.

[2] Ebendas., 1844. Bd. LXI. S. 606.

[3] Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 306. — Traité etc. p. 42. pl. I. fig. 10. p. 68. fig. 13.

[4] Poggendorff's Annalen u. s. w. Januar 1843. Bd. LVIII. S. 12. §. 32. 1.

unabhängig von einander in die Untersuchung der thierischen Elektricität eingeführt, um den Einfluſs sicherer zu erforschen, den gewisse Bedingungen auf die elektromotorische Kraft der thierischen Erreger ausüben. Dazu ist, wie man sieht, im Princip nur nöthig, dem dieser Bedingung ausgesetzten Elektromotor einen von derselben freien ihm ursprünglich gleichen entgegenwirken zu lassen, und die Richtung der jetzt erfolgenden Wirkung zu beobachten. Sie zeigt an, ob der Einfluſs ein stärkender oder ein schwächender war. So einfach dieser Vorschlag in der Vorstellung klingt, so viel Schwierigkeiten widersetzen sich seiner Ausführung, wenigstens sobald man die Vortheile der Methode in vollem Maſse genieſsen will.

Denjenigen Vortheil, den wir später hauptsächlich bezwecken werden, nämlich den der Elimination des Widerstandes, scheint Matteucci nicht zu kennen; wenigstens thut er desselben da, wo er die Vorzüge des Verfahrens auseinandersetzt, keine Erwähnung. Als eigentlichen Grund desselben giebt er an: »En comparant deux de ces piles, l'une »après l'autre, on ne serait jamais sûr d'agir avec des éléments sem»blables, indépendamment de la circonstance que l'on a introduite dans »tous les éléments d'une des deux piles.« [1] Dies ist deshalb auffallend, weil, von seinem Standpunkte aus, von wo er die thierischen Erreger einfach als feuchte, mit einem elektromotorischen Moment in einer bestimmten Richtung begabte Leiter betrachtete, kein Grund vorhanden war, daran zu zweifeln, daſs die Methode der Compensation auch bei thierischen Erregern im Stande sei, den Einfluſs des Widerstandes zu eliminiren. Leider wird sich von einer viel verwickelteren, aber naturgemäſseren Vorstellungsweise von dem Wesen dieser Elektromotore aus in der Folge zeigen, daſs sie dies, bei unseren Versuchen, in der That nur in sehr beschränktem Maſse vermag; für uns ein groſser Uebelstand, da es uns gerade auf diesen Punkt bei ihrer Anwendung angekommen sein würde.

Matteucci half sie zunächst nur, die zahlreichen Fehlerquellen zu überwinden, welche theils aus der unbeständigen Natur der thierischen Elektromotore überhaupt hervorgehen, theils für ihn insbesondere aus dem Verfahren des Anlegens (S. oben S. 227 ff.) entspringen mochten. Er arbeitete dabei, wie man sich erinnert, mit ganzen Säulen aus Fröschen, und zwar ging er von dem Grundsatze aus, daſs zwei Säulen aus 6 — 10 Thieren, die aufs Gerathewohl gegriffen worden sind, sich das Gleichgewicht halten müssen, indem er sich ohne Zweifel vorstellt, daſs ein gröſserer oder lebhafterer Frosch in der einen Säule

[1] Traité etc. p. 68.

unter denen der anderen Säule stets seinen Partner findet. Den Strom einer solchen Säule betrachtet er daher als mittleren Strom, »courant moyen«, und er setzt zwei dergleichen, welche vorher nicht verglichen waren, und deren eine dem Einfluſs einer bestimmten Bedingung unterworfen wurde, einander ohne Umstände gegenüber, um aus dem Differentialstrom, »courant différentiel«, die Art jenes Einflusses zu beurtheilen. So bluteten oft unter Matteucci's Hand 20 Frösche in Versuchen, die er mit zwei gleichnamigen Muskeln von beiden Seiten eines und desselben Frosches gerade eben so gut hätte anstellen können.

Daſs sich bereits für 6 — 8 Frösche das ausgleichende Gesetz der groſsen Zahlen in der Weise verwirklicht finden sollte, daſs in diesen Anordnungen in der That ursprüngliches Gleichgewicht geherrscht haben könnte, ist wohl sehr unwahrscheinlich. Es zeigt sich denn auch, daſs Matteucci nur den Schein eines Gleichgewichtes dadurch erzwang, daſs er den Widerstand der Kette erhöhte und die Empfindlichkeit des Multiplicators niederhielt. Er empfiehlt Brunnenwasser als Leitungsflüssigkeit in den Gefäſsen, worin die äuſsersten Glieder seiner Säulen tauchten. »En employant des liquides plus conducteurs, les déviations »deviennent trop grandes, et les plus petites différences entre les cou»rants des deux piles deviennent considérables.« [1] So hat man es sich zu erklären, wenn er berichtet, daſs zwei im natürlichen Zustande befindliche, einander entgegenwirkende Säulen aus einer gleichen Anzahl Fröschen einen Differentialstrom von nur 1 — 2°, bald in dieser, bald in jener Richtung gegeben haben. [2] Unter diesen Umständen verdienen solche Ströme von 8 — 40°, wie er sie beobachtete, allerdings Vertrauen; nie wurden dergleichen unter 5° als Folge der Bedingung verzeichnet, deren Einfluſs auf die eine Säule ermittelt werden sollte. [3]

Als ich, auf Professor Dove's Anregung, dessen Versuchen am Differentialinductor ich beizuwohnen meistens das Glück hatte, zuerst auf den Gedanken kam, mich der Methode der Compensation bei meinen Untersuchungen zu bedienen, erwartete ich viel von einem Hülfsmittel, welches ich anderwärts so treffliche Dienste leisten sah. Es zeigte sich jedoch, daſs schon allein zwei ganze, möglichst gleiche Frösche, wie auch zwei möglichst gleiche einfachere thierische Erreger, z. B. die gleichnamigen Muskeln beider Seiten eines und desselben Frosches, beim ersten Auflegen an meinem Multiplicator sich auch nicht entfernterweise das Gleichgewicht hielten, sondern daſs beim Schluſs

[1] Ibid., p. 69.

[2] Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 307.

[3] Traité etc. ibid.

der Kette stets mächtige Differentialströme erfolgten. Erst durch sorgfältige Einrichtung, langes hin und her Verschieben der thierischen Theile auf den Bäuschen oder den Zuleitungsgefäfsen gelang es, wenn auch immer nur unsicher, annäherndes Gleichgewicht zu erhalten.

Die Empfindlichkeit meiner Vorrichtungen, von denen dies herrührte, in der Absicht zu opfern, mich der Methode der Compensation leichter bedienen zu können, durfte ich mich, den mannigfaltigen Vortheilen gegenüber, die mir sonst dadurch gewährt wurden, nicht entschliefsen. Ich mufste demnach auf dies Verfahren in allen solchen Fällen gänzlich Verzicht leisten, wo ich die Bedingung, deren Einflufs untersucht werden sollte, nicht während des Aufliegens der Elektromotore, nach vollendeter Herstellung des Gleichgewichtes, auf den einen von beiden einwirken lassen konnte. Denn ich entbehrte sonst aller Bürgschaft, dafs der beobachtete Differentialstrom nicht von Verschiedenheiten in der Lage der Elektromotore, statt von dem Einflusse der Bedingung auf die Kraft des einen herrührte.

Es findet sich nun aber, dafs nur der allerkleinste Theil der Bedingungen der Art ist, dafs man ihn nach vollendeter Einrichtung des Gleichgewichtes einwirken lassen kann, und dafs diejenigen, welche diese Art des Versuches zulassen, gerade wieder meist solche sind, wo es sich um die Elimination des Widerstandes handelt, d. h. wo man zu befürchten hat, dafs die eingeführte Bedingung nicht blos die elektromotorische Kraft, sondern auch den Widerstand verändert, und sich mittelst der Methode der Compensation von dem Gegentheile zu versichern wünscht. Wollte ich demnach die Hülfsmittel, welche mir dieselbe möglicherweise darbieten konnte, nicht gänzlich aufgeben, so mufste ich zuerst untersuchen, inwiefern die Elimination des Widerstandes dabei noch in dem Falle stattfinden kann, dafs das ursprüngliche Gleichgewicht nur unvollkommen hergestellt ist.

Es wird nicht unnütz sein, dafs wir, wenngleich, wie bereits angedeutet wurde, diese Vorstellungsweise in der Folge durch eine andere verdrängt werden dürfte, diese Untersuchung zuerst unter der Voraussetzung anstellen, dafs die thierischen Erreger einfach feuchte, mit einem elektromotorischen Moment in einer bestimmten Richtung begabte Leiter sind. Das Verfahren der Entgegensetzung bringt es, wie gesagt, mit sich, dafs die Ungleichheit der Wirkung zweier Elektromotore ohne Weiteres der Ungleichheit der in derselben thätigen elektromotorischen Kräfte zugeschrieben werden kann, weil nämlich beide einen und denselben Widerstand zu bewältigen haben. Eine fernere Veränderung in dem Verhältnifs der elektromotorischen Kräfte giebt sich aber nur dann auf unzweideutige Weise kund, wenn sich

dieselben ursprünglich genau das Gleichgewicht hielten. Hat man nur einen Elektromotor im Kreise, und man sieht die Nadel sich dem Nullpunkte nähern oder sich von demselben entfernen, so kann dies ebensowohl von einer Vermehrung oder Verminderung des Widerstandes, als von einer Verminderung oder Vermehrung der elektromotorischen Kraft herrühren; in jenem Falle hingegen geht die Nadel, wenn die Kraft des einen Elektromotors schwankt, vom Nullpunkte aus nach der einen oder nach der anderen Seite, eine Wirkung, die sich nie aus einer Schwankung des Widerstandes erklären lassen würde.

Etwas Anderes ist es in dem Falle, wo die Elektromotore einander nicht genau das Gleichgewicht halten: dann kann die Wirkung einer Veränderung der elektromotorischen Kraft nur noch unter gewissen Umständen von der einer Veränderung des Widerstandes unterschieden werden. Ist der Multiplicator empfindlich genug, so steht die Nadel alsdann nicht auf Null, sondern in dem Quadranten, der der Wirkungsrichtung des stärkeren entspricht. Nimmt nun die Kraft dieses stärkeren ab, so geht die Nadel nach dem Nullpunkte zurück; diese Wirkung läfst sich aber erst dann von einer Rückkehr derselben wegen vermehrten Widerstandes unterscheiden, wenn die Nadel in dem anderen Quadranten über ihre Stellung in dem ersteren hinausgeht. Nämlich dann erst ist man gewifs, dafs man es nicht mit einem blofsen Rückschwunge der Nadel, sondern mit einem wirklichen Strome zu thun habe, während eine Schwankung des Widerstandes, wie grofs sie auch sei, immer nur das erstere hervorzubringen vermag. Nimmt der schwächere Elektromotor an Kraft zu, so geht die Nadel wieder nach dem Nullpunkte zurück, und wenn sie, in dem anderen Quadranten, ihre Stellung in dem ursprünglichen Viertelkreise überschreitet, so kann man sicher sein, dafs man es wirklich mit einer Verstärkung des schwächeren Elektromotors, und nicht blos einer Vermehrung des Widerstandes zu thun hat. Wie aber die fernere Verstärkung des stärkeren Elektromotors nicht von einer Verminderung des Widerstandes unterschieden werden konnte, so kann umgekehrt unter diesen Umständen auch die fernere Schwächung des schwächeren Elektromotors nicht von einer solchen Verminderung unterschieden werden.

Ist der Multiplicator so unempfindlich, oder die Compensation, wenngleich unvollkommen, immer noch so vollständig, dafs die Nadel auf Null bleibt, so gelten dieselben Regeln, nur dafs, da keine ursprüngliche Ablenkung da ist, folglich keine Verwechselung zwischen blofsem Rückschwung der Nadel wegen verminderten Widerstandes und negativen Ausschlages wegen Schwankung der Kraft des einen oder des anderen Elektromotors stattfinden kann, eine jede Nadelbewegung

in dem Sinne des schwächeren Elektromotors sofort auf eine solche Schwankung gedeutet werden darf.

Somit ist der Kunstgriff, der sich schliefslich aus diesen Betrachtungen ergeben würde, bereits angedeutet; er besteht darin, eine muthmafslich kraftverstärkende Bedingung auf den ursprünglich schwächeren, eine muthmafslich schwächende hingegen auf den stärkeren Elektromotor einwirken zu lassen. Alsdann wird sich, bei einfachen Elektromotoren, der Widerstand ebenso vollkommen eliminirt finden, als wenn das Gleichgewicht vollkommen gewesen wäre. Ja, da man im Grunde niemals auf ganz vollkommenes Gleichgewicht rechnen kann, so dürfte es sich sogar rathsam zeigen, dasselbe absichtlich stets so unvollkommen herzustellen, dafs eine geringe Multiplicatorwirkung den stärkeren Elektromotor kennen lehrte, um die Bedingung nach Bedürfnifs auf ihn oder den anderen einwirken lassen zu können. Hat man es aber mit einer schwächenden Bedingung zu thun, und eine bedeutende Schwankung der Kraft zu gewärtigen, so würde, da in diesem Falle ein merklich schwächerer Elektromotor zur Compensation hinreicht, gar kein zweiter absichtlich dazu angebrachter Erreger nöthig sein, sondern es würden die Ladungen allein schon diesem Zwecke genügen, die der erste sich selbst entgegen auf den Elektroden entwickelt. Es ist übrigens klar, dafs, auch bei Anwendung des zweiten dem ersten nicht völlig gleichkommenden Elektromotors sich zu diesem noch immer die durch den Differentialstrom erzeugte Polarisation der Platinenden gesellt.

Aufserdem bleibt stets noch ein anderer Kunstgriff unbenommen. Es ist der, die Bedingung bald auf den einen und bald auf den anderen Elektromotor einwirken zu lassen, und die Veränderung der elektromotorischen Kraft, mit Hülfe der dem entsprechend wechselnden Richtung der Ausschläge, von einer Schwankung des Widerstandes zu unterscheiden, welche die Nadel stets nur in einem Sinne bewegen könnte. Dieses Wahrzeichen wird vorzüglich dann schätzbar sein, wenn die Schwankung im Verhältnifs zur ursprünglichen Ablenkung so gering ist, dafs die obigen Merkmale die Frage unentschieden lassen.

Dies würden die Aussichten für die Anwendung des Verfahrens der Entgegensetzung zur Vertreibung des Widerstandes aus der Gleichung der Stromkräfte unter der Voraussetzung sein, dafs die thierischen Erreger gewöhnlichen einfachen Ketten oder Säulen zu vergleichen sind. Diese Voraussetzung ist, ich wiederhole es, irrig; wie sich von anderen, der Wirklichkeit näher kommenden Vorstellungsweisen aus jene Aussichten gestalten, wird sich später ergeben. Dazu werden uns aber die vorstehenden Erörterungen eine bequeme Grundlage darbieten.

## Zweites Kapitel.

## Vom stromprüfenden Froschschenkel und dessen Gebrauch.

### §. I.

### Vom physiologischen Rheoskope überhaupt.

Dafs das physiologische Rheoskop, in Gestalt des Froschpräparates, mit dem Multiplicator an Empfindlichkeit wetteifere, so dafs noch Nobili jenem den Preis zugestehen mufste, erinnert man sich aus dem ersten Paragraphen des vorigen Kapitels (S. oben S. 160). Wenn dies indefs der einzige Vorzug wäre, den dieses stromprüfende Mittel besäfse, so würde sein Werth, abgesehen davon, dafs ihm meiner Meinung nach jener Vorrang nicht mehr gebührt, vermöge einer nicht geringen Anzahl bedeutender Nachtheile, in der That ziemlich tief zu stehen kommen. Dem ist jedoch nicht so; sondern eine besondere, allerdings bisher nicht hinreichend gewürdigte Eigenschaft, die wir demnächst kennen lernen werden, erhebt das physiologische Rheoskop neben dem elektromagnetischen und dem elektrochemischen zu der Stellung eines solchen, welches bei schwachen Strömen in gewissen, sehr wichtigen Fällen durch kein anderes ersetzt zu werden vermag.

Werfen wir zuerst ein Blick auf die Form, in der wir dasselbe anzuwenden haben. Dafs, bei der Schwäche der hier in Rede stehenden Wirkungen, von der subjectiven Methode, welche das Dasein und das ungefähre Verhältnifs der Stärke von Strömen durch die Erschütterungen des menschlichen Körpers bemifst, nicht die Rede sein könne, versteht sich von selbst. Ganz im Gegentheil, die erste Bemerkung, die uns hier obliegt, ist diejenige, dafs nicht einmal der Gesammtfrosch, oder ein einzelnes nicht weiter zugerichtetes Glied desselben zur Wahrnehmung zarterer Wirkungen tauglich sei, sondern dafs jener gerühmte Gipfel der Empfindlichkeit erst dadurch erreicht werde, dafs der Strom,

in einer Strecke seiner Bahn, auf den Nerven allein angewiesen sei. [1] Dies liegt einfach daran, dafs, da nach den Ohm'schen Grundsätzen die Stärke desselben in jedem senkrecht auf die Bahn genommenen Quer-

[1] Galvani selbst wufste bereits sehr wohl, was er diesem Kunstgriff, den der Zufall ihn gelehrt, zu verdanken habe: »Pleraque certe, quae ex his periculis de»texeimus, accepta maxime referimus huic praeparandi, et sejungendi nervos artificio«. Opere ed. ed ined. ec. De viribus etc. p. I. in fine. p. 75.* Auch von dem Grunde der Erscheinung hatte er eine Ahnung. Ibid., p. 96. 97.* Klarer schon spricht sich Volta gleich in seinem ersten Schreiben an Baronio (S. oben S. 52) aus. Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. p. 5. §. 7. seg.;* ebenso Fowler in Al. Monro's und Rich. Fowler's Abhandlung über thierische Elektricität und ihren Einflufs auf das Nervensystem. Leipzig 1796. S. 65;* am erschöpfendsten jedoch Pfaff in seiner Schrift: Ueber thierische Elektricität und Reizbarkeit. Leipzig 1795. S. 14 ff. 151 ff.,* der sich die schwächende Wirkung der Nebenschliefsung unter dem Bilde einer Ableitung vorstellt. S. auch bereits seine Inaugural-Dissertation in Gren's Journal der Physik. 1794. Bd. VIII. S. 255. §. 44.* — Ritter erklärt den Umstand, dafs der Schlag der Säule stets an dem zuletzt berührten Pole stärker als an dem erstberührten erscheine, durch die dort im ersten Augenblicke der Schliefsung noch auf wenige Punkte beschränkte Berührungsfläche. »Auf den letzten Finger wirkt »also das durch den ganzen elektrischen Kreis gleiche Mafs der Action in viel »gröfserer Concentration, als auf den ersten, und es kann sehr bald selbst dahin »kommen, dafs die Action auf diesen ersten so weit diluirt ist, dafs sie, ihrer Aus»breitung ungeachtet (?), doch an keinem gegebenen Punkte des Fingers .... mehr »stark genug ist, eine wirklich vernehmbare Empfindung mehr hervorzurufen«. Gehlen's Journal für die Chemie, Physik und Mineralogie u. s. w. Bd. IV. 1807. S. 620. Anm.* Vergl. Gilbert's Annalen u. s. w. 1801. Bd. VII. S. 451. 452. 479. 480 Anm.* — Seitdem durch Ohm das Gebiet des Galvanismus von der Mathematik unterjocht und an die Stelle der vagen Vorstellungen von Ableitung, Concentration, Diluirung u. s. w., wie an die von Intensität und Quantität scharf umschriebene Begriffe getreten sind, hat sich, meines Wissens, Pouillet zuerst wieder über diesen Punkt ausgelassen, jedoch, wie mir scheint, nicht ganz mit der hier nunmehr möglich gewordenen Klarheit und Bestimmtheit. Er sagt: »Toutes les observations »portent à conclure que le fluide électrique fait sentir ses effets, non pas en »raison de la somme des actions qu'il exerce, mais en raison de l'intensité »des actions individuelles qu'il exerce sur chacune des fibres qui sont destinées à »recevoir ou à transmettre les impressions qu'il peut produire; et que sous ce rap»port, il agit d'une manière analogue à la lumière.« Comptes rendus etc. 22 Mai 1837. t. V. p. 791. 792.* — Becquerel, Traité expérimental etc. t. V. p. I. 1837. p. 284.* — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1837. Bd. XLII. S. 305.* — Deutlicher drückt sich Vorsselman de Heer zwei Jahre später (Deventer, 4. Februar 1839) in seinem bekannten Vorschlage eines physiologisch-elektrischen Telegraphen ebendarüber aus. »Die Empfindung, welche der Durchgang der Elektricität durch »die Nerven in irgend einem Theile des Körpers hervorbringt, wird desto merkli»cher, je gröfser die Intensität des Stroms und je kleiner der auf der Richtung des »Stroms winkelrechte Querschnitt des Körpers ist« ..... »Bei .. den .. physio»logischen Wirkungen hängt der Effect von der Electricität ab, die sich in jedem »Elemente eines Querschnitts befindet, weil er sich in diesen Elementen selbst »äufsert.« Poggendorff's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVII. S. 520. 521.*

schnitt eine und dieselbe ist, die Dichtigkeit in einem bestimmten Querschnitt um so gröfser sein mufs, je kleiner dieser Querschnitt ist (S. oben S. 136 Anm.); während die Wirkungen des Stromes, die er in dem Leiter selbst ausübt, irgendwie mit dieser Dichtigkeit wachsen müssen.

Dies ist auch, beiläufig, der Grund für die in den ersten Zeiten des Galvanismus häufig wahrgenommene Bedingung des Eintretens von Zuckungen bei Anlegung eines ungleichartigen Metallbogens einerseits an einen Muskel und andererseits an den unterbundenen Nerven jenseits des Unterbandes. [1] Zuckung tritt bei dieser Anordnung nämlich nur dann ein, wenn zwischen Unterband und Muskel noch ein Stück Nerv frei gelegt und isolirt ist; sie bleibt aus, wenn die Unterbindung dicht an der Eintrittsstelle des Nerven in den Muskel geschah, kann jedoch dadurch wieder hervorgerufen werden, dafs man den Nerven, mit Hülfe der ihn umgebenden Schlinge, eine kleine Strecke aus dem Muskel hervorzieht. Umgekehrt kann, wenn noch eine Strecke Nerv zwischen Muskel und Unterband übrig geblieben war, die Zuckung dadurch unmöglich gemacht werden, dafs dieses Stück mit einer den Muskel berührenden und aufwärts bis an das Unterband reichenden

[1] Als der Entdecker dieses Verhaltens, welches er aber nicht zu erklären wufste, ist Valli anzusehen. Gren's Journal der Physik. 1792. Bd. VI. S. 392. — Reinhold's Geschichte des Galvanismus nach Sue d. Aelt. frei bearbeitet. 1803. S. 27. Die Anmerkung, die Reinhold hier giebt, enthält Ungenauigkeiten. Aldini's Beobachtungen über die Wirkungen der Unterbindung (Aloysii Galvani etc. Commentarius cum Joannis Aldini Dissertatione et Notis. Mutinae 1792. 4°. p. 37. Nota *) sind zwar richtiger als diejenigen Vasco's, welcher glaubte, dafs mit unterbundenen Nerven die galvanischen Versuche überhaupt nicht gelängen (Galvani's Commentar übersetzt von Mayer. Vorrede S. xxvii *); allein gerade der wichtige hier in Rede stehende Punkt war ihm entgangen. — Auf Valli, Vasco und Aldini folgt Créve. Gren's Journal u. s. w. 1793. Bd. VII. S. 328. i. (Ein Auszug aus Créve's Schrift von Gren). Dann kommt Pfaff, dessen Reinhold nicht Erwähnung thut: Ueber thierische Elektricität u. s. w. S. 31. 210. 225. (Nachmals in Gehler's physikalischem Wörterbuche. Bd. IV. Abth. II. 1828. S. 706 *); — sodann v. Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Bd. I. S. 207 und im Berichte der Commission des National-Institutes vom Floréal und Prairial des Jahres V (Frühling 1797), übersetzt in Ritter's Beiträgen zur näheren Kenntnifs des Galvanismus und der Resultate seiner Untersuchung. Bd. I. St. 1. 1800. S. 92; — endlich Ritter selbst in seinem »Beweis, dafs ein beständiger »Galvanismus den Lebensprocess in dem Thierreich begleite,« Weimar 1798. S. 127; — in seinem: »Beweis dafs die Galvanische Action oder der Galvanismus auch in »der Anorgischen Natur möglich und wirklich sei.« Beiträge u. s. w. Bd. I. St. I. S. 175 ff.; und in »Physisch-chemische Abhandlungen« Bd. I. 1806. S. 129. 130. — S. auch Joh. Müller's Handbuch der Physiologie u. s. w. Bd. II. 1840. S. 58.

gröfseren Masse eines feuchten Leiters, Muskel, Leber u. d. m. umhüllt wird. Indefsen kann dies alles doch nur von einer geringen Stufe der Leistungsfähigkeit der thierischen Theile sowohl als von einer geringen Stromeskraft der angewandten ungleichartigen Bögen Geltung haben, da z. B. die Enden eines Platinzinkbogens an den Muskel selbst angelegt, ohne dafs irgend freier Nerv sich mit im Kreise befände, leicht Zuckung hervorrufen; freilich nur an gewissen Stellen, wo die Nerven eine hiezu günstige Vertheilung dicht unter der Oberfläche besitzen mögen.

Man empfiehlt gewöhnlich, um sich des Frosches als stromprüfenden Mittels zu bedienen, denselben nach Galvani's bekannter Vorschrift zuzubereiten. Ich kann diesem Präparate nur noch einen geschichtlichen Werth beilegen. Es kommt vielmehr, aus mehreren Gründen, darauf an, sich ein möglichst langes Ende Nerv freiliegend zu verschaffen, da nicht nur, bei gleicher Stromstärke, die Zuckungen um so kräftiger sind, je länger die vom Strom durchlaufene Strecke ist,[1] sondern es auch wünschenswerth ist, mit abnehmender Leistungsfähigkeit des Präparates von dem centralen Ende der Nerven fort und ihrer peripherischen Ausbreitung näher rücken zu können, wo, nach Valli's und Ritter's Entdeckung, noch Zuckungen erhalten werden, wenn der centrale Stumpf bereits abgestorben erscheint.[2] Das Stück Wirbelsäule mit seinem Rückenmarke könnte zwar den Dienst leisten, dafs es das Absterben des Nerven etwas verzögerte, allein dieser Vorzug wird durch die Uebelstände aufgewogen, dafs es, bei sehr reizbaren Thieren, leicht Anlafs zu eigenmächtigen Zuckungen giebt und aufserdem oft in rein mechanischer Hinsicht bei Handhabung des Präparates hinderlich ist.

Weit vorzüglicher ist daher folgende Anordnung, auf die wohl jeder, der sich mit diesen Sachen abgiebt, bald von selbst geführt wird, wie mir dies auch begegnet war, als Matteucci sie zuerst beschrieb.[3] Er nennt sie »grenouille galvanoscopique«;[4] ich bezeichne sie als stromprüfenden Froschschenkel. Sie besteht (Taf. I. Fig. 15) aus einem blofsen Unterschenkel vom Frosch, an dem der ganze Verlauf

[1] Dies wird durch mehrere Zeugnisse aus dem ersten Jahrzehend des Galvanismus bekundet. S. unten, §. II. 3 (III).

[2] S. unten, §. III. 2 (II).

[3] L'Institut. t. X. No. 426. p. 65. * Séance de l'Académie des Sciences du 21 Février 1842.) — Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 304. 305. *

[4] Annales de Chimie et de Physique. Avril 1843. 3. Série. t. VII. p. 425. pl. II. fig. 1. * — Traité etc. p. 29, pl. I. fig. 4. *

des N. ischiadicus von der Kniekehle bis zu den Lendenwirbeln erhalten ist. Die Zurichtung geschieht am besten folgendermafsen. Nachdem der Frosch enthäutet ist, wird er oberhalb der Austrittsstelle der Nerven für die unteren Extremitäten aus der Wirbelsäule quer durchschnitten, die vordere Bauchwand nebst den Eingeweiden entfernt, das Präparat auf die Bauchfläche gelegt, und der Nerv in der Kniekehle entblöfst. Man führt dann ein Blatt der Scheere zwischen Nerv und Oberschenkel hindurch, durchschneidet den letzteren dicht oberhalb des Gelenkes, und präparirt den Nerven nach aufwärts vorschreitend frei heraus. Die einzige schwierige Stelle findet sich da, wo der Nerv in der Tiefe über die Beckenknochen forttritt, indem er gerade hier durch die Abgabe der Muskelzweige für die grofsen Oberschenkelmuskeln fest in seiner Lage zurückgehalten wird. Die aufwärts vorschreitende Präparation des Nerven ist dabei aus eben dem Grunde vortheilhaft, aus dem sie bekanntlich in der praktischen Anatomie bei Anfertigung von Nervenpräparaten verpönt ist; denn man beabsichtigt hier gerade, den Nerven möglichst leicht von seinen Verzweigungen befreien zu können.

Eine wichtige Vorsichtsmafsregel wird in den meisten Fällen die sein, den stromprüfenden Schenkel bis auf die in den zu untersuchenden Kreis eingeschaltete Nervenstrecke sorgfältig isolirt zu halten, damit man sicher sei, dafs weder der eigene Strom des Schenkels, noch sonst ein anderer Strom, als derjenige, dessen Wirkung man eben beobachten will, seinen Weg durch den Nerven nehme. Vergl. z. B. oben S. 95 die von diesem Gesichtspunkt aus geführte Kritik der späteren thierisch-elektrischen Versuche Aldini's an grofsen warmblütigen Thieren. Matteucci, der seinerseits auch schon hierauf aufmerksam gemacht hat (s. ebendas., Anm.), isolirt den Froschschenkel, indem er ihn in ein gefirnifstes Glasrohr steckt, auf eine Siegellackstange legt, oder mit den Fingern zwischen Wachstaffent fafst. Im »Traité« behält er das erstere Verfahren, welches sich auch daselbst abgebildet findet, allein bei. Mir scheint dasselbe nicht vortheilhaft, weil sowohl die Beweglichkeit der thierischen Theile auf diese Weise beeinträchtigt werden kann, als auch die Beobachtung schwacher Zuckungen theils durch die mangelhafte Durchsichtigkeit der Firnifsschicht, theils durch die Brechung des Glases selbst gestört wird. Ich lege vielmehr den Unterschenkel auf eine länglich viereckige Glasplatte, so dafs der Stumpf des Oberschenkels, wo der Nerv frei wird, ihrem einen Ende entspricht, und binde ihn mittelst Fäden in später zu beschreibender Weise fest. Von einer häufig angewandten Aufstellungsweise dieser Glasplatte wird alsdann gleichfalls (S. unten, Kap. IV. §. III. — Taf. III. Fig. 19) die Rede sein.

Einige andere Punkte, die man beim Gebrauch des Froschpräparates zu berücksichtigen hat, sind so bekannt, dafs es kaum der Erinnerung daran bedarf. Dafs man, um die gröfstmögliche Empfindlichkeit zu erhalten, ein möglichst kräftiges und frischgefangenes Thier möglichst schnell zurichten müsse; dafs dieses Maximum der Leistungsfähigkeit vorzüglich im Frühjahr und Herbst, [1] nach dem Winterschlaf und vor demselben, erreicht werde; dafs man sich zu hüten habe vor mechanischer Zerrung des Nerven, vor chemischer Verletzung desselben, insbesondere aber auch vor seiner Austrocknung, welche von einem schwachen und dauernden, von Zeit zu Zeit durch heftigere Stöfse unterbrochenen Zittern der Muskeln begleitet ist; alles dies sind Bemerkungen, die theils seit den ersten Zeiten des Galvanismus allgemein verbreitet, theils der Art sind, dafs sie sich alsbald jedem bei den ersten Schritten in diesem Gebiete von selbst aufdrängen.

Auf die thierisch-elektrischen Versuche angewandt, bietet das physiologische Rheoskop zunächst den Vortheil dar, dafs es das einzige ist, dessen Anzeigen ohne Einschaltung von Metallen in den Kreis gewonnen werden können. Nicht nur fallen dadurch für dasselbe die zahllosen Schwierigkeiten hinweg, mit denen die Herstellung gleichartiger Metallflächen, wie wir jetzt wissen, verknüpft ist, sondern es kann auch demselben, wegen der ausbleibenden Schwächung durch die Widerstände an der Grenze der festen und feuchten Leiter, auf diese Weise eine gewissermafsen erschlichene Ueberlegenheit hinsichtlich der Empfindlichkeit gesichert sein. Aber diese Vorzüge sind weit entfernt, die anderweitigen Mängel zu vergüten, woran dies stromprüfende Mittel leidet, und welche wir jetzt in Betracht ziehen wollen.

Dasselbe entbehrt erstens jeder Gleichmäfsigkeit in seinen Angaben. Die verschiedenen Thiere besitzen eine sehr verschiedene Leistungsfähigkeit; diese Leistungsfähigkeit wechselt bei denselben nach den verschiedenen Jahreszeiten, und mannigfaltigen sonstigen Einflüssen während des Lebens selbst. Nach dem Tode ist sie in fortwährender Abnahme begriffen und nach Ruhezeiten, wenn die Organe erschöpft worden waren, doch wieder geringen Ansteigungen ausgesetzt, und wiederum das noch unbekannte Gesetz dieser Abnahme ist, entsprechend tausend Umständen, unzähligen Schwankungen unterworfen, die schon allein jeder Beherrschung Trotz bieten. Nicht nur also dafs man mit diesem Rheoskope nie seiner Sache gewifs ist, da die thierisch-elektrischen Versuche die äufserste Empfindlichkeit verlangen, welche bald

[1] Joh. Müller, Handbuch der Physiologie u. s. w. Bd. I. 3. Auflage. 1838. S. 622. 623. 2 a. *

ganz fehlt, bald unerfafsbar schnell vorübergeht, sondern die Anzeigen desselben ermangeln auch jeder Vergleichbarkeit hinsichtlich der relativen sowohl, als der absoluten Stärke der Wirkungen, von denen sie Kunde geben, und so gebricht es ihm offenbar an der ersten Eigenschaft, wodurch ein Rheoskop auch nur annähernd zum Rheometer erhoben werden kann.

Ein zweiter Vorwurf, dem etwas leichter zu begegnen ist, ist der, dafs, da das Präparat nur auf den Beginn und das Ende von Strömen mit Zuckung antwortet, es ungewifs bleibt, ob man es mit einem stetig vorhandenen Strom oder mit einer augenblicklichen Entladung zu thun habe. Daher in den ersten Zeiten des Galvanismus, als man noch kein anderes Rheoskop besafs, die Frage, ob über den Augenblick der Schliefsung hinaus eine Wirksamkeit irgend einer Art in der Kette stattfinde, in der That ein Gegenstand langwieriger Streitigkeiten werden konnte. Jetzt wird sich aus der Natur der Sache in den meisten Fällen ein Ausweg ergeben, mit dessen Hülfe sich diese Zweifel erledigen lassen.

Das Mifslichste ist die grofse Unsicherheit der Anzeigen des stromprüfenden Schenkels hinsichtlich der Richtung des Stromes, der ihn zum Zucken vermocht hat. Am allgemeinsten ist wohl, vorzüglich in Deutschland, die Meinung verbreitet, dafs dieser Umstand von denselben ganz ausgeschlossen bleibt; nichtsdestoweniger giebt es gewisse ziemlich einfache, aber leider nicht sehr zuverlässige Regeln, mittelst welcher er sich aus der Erscheinungsweise der Zuckungen entnehmen läfst. Immer würde, selbst wenn diese Grundsätze keiner Zweideutigkeit fähig wären, der Uebelstand obwalten, dafs die Wahrnehmung der Richtung nie durch eine vereinzelte Beobachtung gegeben ist, sondern eine besonders darauf angelegte Versuchsreihe erforderlich macht, und dafs das dadurch gewonnene Kennzeichen in nicht wenig Fällen auf die stets bedenkliche Vergleichung der Stärke von Zuckungen zurückkommt.

Obschon wir uns demgemäfs, im Laufe unserer Untersuchungen, dem Gebrauch des stromprüfenden Schenkels in dem bisher erörterten Sinne möglichst entziehen werden, halt' ich es doch für nothwendig, die eben erwähnten Regeln hier auseinanderzusetzen, weniger fast um des praktischen Nutzens willen, den dieselben uns möglicherweise gewähren können, als weil sie mit einer Gruppe von Thatsachen verwachsen sind, deren Kenntnifs ich im Folgenden durchaus mufs voraussetzen können, und welche, wie mir scheint, in der neueren Physiologie noch nicht hinreichend Berücksichtigung gefunden hat. Zuvor kann ich jedoch nicht umhin, einiges meines Wissens gleichfalls noch

so gut wie unbeachtet Gebliebene über die Art und Weise überhaupt voraufzuschicken, wie die Nerven durch den elektrischen Strom erregt werden.

---

## §. II.

## Von dem allgemeinen Gesetze der Nervenerregung durch den elektrischen Strom. [1]

### 1. Allgemeiner Ausdruck des Gesetzes.

Es ist so eben bereits daran erinnert worden, dafs der stromprüfende Schenkel nur auf das Eintreten und Aufhören des Stromes mit Zuckung antwortet, während der Dauer desselben hingegen sich ruhig verhält. Nur wenn ganz übermächtige Stromeskräfte einen Nerven treffen, sieht man wohl zu Zeiten die davon abhängigen Muskeln, trotz der beständigen Gröfse jener, in einer unausgesetzten Reihe von Zukkungen begriffen. Allein in solchen Fällen dauern die Krämpfe nicht selten auch nach dem Oeffnen der Kette fort, und, wenn dieselbe längere Zeit geschlossen bleibt, tritt sehr bald für immer Ruhe ein. Man ist also berechtigt zu schliefsen, dafs unter diesen Umständen die Zukkungen nicht mehr die Folge der gewöhnlichen Erregungsart durch den elektrischen Strom sind, sondern vielmehr von einer zerstörenden, unstreitig auf Elektrolyse beruhenden Einwirkung desselben herrühren, welche mit dem fraglichen Gesetze nichts zu schaffen hat.

Dagegen findet man, dafs Zuckungen, wie auf Oeffnen und Schliessen der Kette, so auch auf blofse Schwankungen der Stromdichtigkeit in dem Nerven in beliebigem Sinne erfolgen, wofern sie nur schnell genug vor sich gehen. In der That läfst sich auch der Anfang und das Ende des Stromes einer blofsen, in dem ersten Falle positiven, in dem zweiten negativen Schwankung desselben vergleichen, welche dort von Null ausgeht, hier die Stromstärke auf Null zurückführt. Es läfst sich also, bis auf Weiteres, folgender Satz aufstellen, der als das erste und oberste Gesetz des ganzen unabsehbaren Gebietes der elektrischen Reizversuche festzuhalten ist:

»Nicht der absolute Werth der Stromdichtigkeit in jedem Au»genblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung des zu»gehörigen Muskels antwortet, sondern die Veränderung dieses Wer-

[1] Mitgetheilt der physikalischen Gesellschaft zu Berlin in ihrer Sitzung vom 8. August 1845.

»thes von einem Augenblicke zum andern, und zwar ist die An-
»regung zur Bewegung, die diesen Veränderungen folgt, um so
»bedeutender, je schneller sie bei gleicher Gröfse vor sich gingen,
»oder je gröfser sie in der Zeiteinheit waren.«

Dies Gesetz ist, mit Hülfe der mathematischen Einkleidung, eines schärferen Ausdrucks fähig; und wir wollen nicht unterlassen, davon Gebrauch zu machen, da er uns, wenn auch zu keinen neuen Ergebnissen zu führen, doch wenigstens eine kurze und anschauliche Art der Verständigung zu gewähren vermag.

Denkt man sich die Dichtigkeiten $\Delta$ als Ordinaten auf die Zeit $t$ als Abscisse aufgetragen,

$$\Delta = f_{(t)},$$

und nennt man $\varepsilon$ das Mafs der in jedem Zeitelemente stattfindenden Anregung zur Bewegung, oder der Erregung, so ist $\varepsilon$ nach dem Obigen eine mit dem Argument irgendwie wachsende Function der Steilheit der Dichtigkeitscurve in jedem Punkte oder des Differentialquotienten derselben;

$$\varepsilon = F\left(\frac{d\Delta}{dt}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I)}$$

$\varepsilon$ ist Null, wenn die Dichtigkeit beständig bleibt, d. h. wenn

$$f'_{(t)} = 0$$

ist. Die ganze Summe der Erregungen aber, deren Erfolg wir in Gestalt einer Muskelbewegung, d. h. gewisser Geschwindigkeiten, welche den Massetheilchen des Muskels mitgetheilt werden, vor Augen sehen, müfste man, wenn die Function $(F)$ bekannt wäre, finden können, indem man setzte die Differentialerregung

$$\varepsilon . dt = d\eta = F\left(\frac{d\Delta}{dt}\right) . dt,$$

$$\eta = \int_{T}^{T_1} F\left(\frac{d\Delta}{dt}\right) . dt, \ldots\ldots\ldots \text{(II)}$$

worin $T$, $T_1$ die Abscissen des Anfanges und des Endes der Schwankung bedeuten. Denkt man sich die Erregung also z. B. der Steilheit einfach proportional,

$$\varepsilon = \alpha . f'_{(t)},$$

so stellte $\eta$ gleichfalls eine der Summe der Differentialquotienten der Curve oder ihrer Steilheiten auf allen Punkten proportionale Gröfse vor,

$$\eta = \alpha . [f_{(T_1)} - f_{(T)}] \ldots\ldots\ldots \text{(III)}$$

Es ist hiernach völlig klar, dafs, dem Obigen gemäfs, $\eta$ um so gröfser ausfällt, je steiler der allgemeine Gang der Curve ist, welche das Ge-

setz der wechselnden Stromdichtigkeiten in dem Nervenquerschnitt auf die Zeit bezogen darstellt. Ist die Stromesschwankung negativ, oder begreift sie Grenzwerthe in sich, so ist es auch der Differentialquotient durchweg oder an den entsprechenden Stellen, und mit ihm das Integral $\eta$. Dasselbe findet für positive Schwankungen der Dichtigkeit des entgegengesetzt gerichteten Stromes statt, deren Gesetz man sich unterwärts von der Abscissenaxe aufgetragen denken mufs. Keinesweges ist indefs hier das Minuszeichen in gewöhnlichem Sinne in Betracht zu ziehen, sondern vielmehr Alles, bis auf Weiteres, absolut positiv zu nehmen.

Wie man sich das Zustandekommen gröfserer oder geringerer Wirkungen beim Hereinbrechen eines stärkeren oder schwächeren Stromes in den Nerven vorzustellen habe, ist ungewifs, da wir von der Gestalt der Curve, in der das Hereinbrechen geschieht, leider ganz und gar nichts wissen. Wir wissen nicht, ob die Steilheit ihres allgemeinen Ganges für jede Stärke beständig bleibt, oder ob sie bei gröfseren Stärken zugleich wächst; und wir müssen uns daher zunächst an der Einsicht genug sein lassen, dafs, welcher von diesen Fällen auch stattfinde, das Zustandekommen einer gröfseren Wirkung denkbar, ja nothwendig bedingt erscheint; da in dem einen die Erregungsdifferentiale, und mit ihnen das Integral wachsen, in dem anderen, bei mehr gleichbleibender Gröfse jener, dieses zwischen weiteren Grenzen zu nehmen sein würde, so dafs die Summe der auf die Muskeltheilchen wirkenden beschleunigenden Kräfte unter allen Umständen beträchtlicher ausfällt.

Von besonderer Wichtigkeit sind die Folgerungen, die sich aus Vorstehendem für die Beziehung zwischen der sich in einer gewissen Zeit abgleichenden Elektricitätsmenge und der Stärke der Einwirkung ergeben, die dadurch hervorgebracht wird. Diese Menge ist proportional dem zwischen der Curve, der Abscisse, und den Grenzordinaten eingeschlossenen Flächenraume;

$$M = A.\int_{T}^{T_1} \Delta.dt$$

Man übersieht nun leicht, dafs nur unter gewissen Bedingungen eine Beziehung zwischen diesem Flächenraum und der Summe $\eta$ stattfinden werde, da nicht er, sondern die Gestalt der ihn umschliefsenden Curve es ist, wodurch z. B. einfach die Summe der Differentialquotienten über die ganze Ausdehnung der Curve bestimmt wird. Schon darin zeigt sich dies deutlich, dafs, nach unserer bisherigen Annahme, bei Schwankungen schon bestehender Ströme, die auch auf der in der Schwankung erreichten Höhe beständig verweilen, auf die absolute

Gröfse, von der die Schwankung ausgeht, gar nichts ankommen würde, da man überall setzen darf

$$\Delta = f_{(t)} + C,$$

ohne dafs der Differentialquotient dadurch eine Aenderung erlitte. Nur dann tritt die Gesammterregung mit der Elektricitätsmenge in Verkehr, wenn solche Bestimmungen getroffen sind, dafs die Gestalt der Curve nothwendig mit jener Menge veränderlich ist. Aber auch dann wird $\eta$ eben so oft in einem umgekehrten Verhältnisse mit dem Flächenraume sich verändern, als in einem geraden. Es sei z. B. eine bestimmte Zeit der Abgleichung und eine gewisse allgemeine Form der Curve, zugleich aber eine wechselnde Elektricitätsmenge gegeben, die Abgleichung soll mit Null anfangen und mit Null enden. Man habe also

$$\Delta = a.f_{(t)},$$

wo $a$ mit der Elektricitätsmenge wächst und abnimmt; die Ableitung ist $a.f_{,(t)}$ und in diesem Falle steigt und fällt also die physiologische Wirkung

$\int_T^{T_1} F\left(a.f_{,(t)}\right).dt$ mit dem Flächenraume $a.\int_T^{T_1} f_{(t)}.dt$,

da beide von $a$ abhängig sind. Jetzt handele es sich aber statt um einen von Null auf Null zurückkommenden Abgleichungsvorgang, wieder um eine Schwankung eines bestehenden Stromes, wodurch die Dichtigkeit schliefslich auf denselben Stand zurückgeführt wird. So lange die Gröfse der Schwankung nicht die beständig vorhandene des Stromes übertrifft, so lange kann sie in gleicher Gröfse nach beiden Richtungen hin stattfinden, und demnach bei sehr verschiedenen Elektricitätsmengen einerlei Wirkung hervorbringen. Dies fährt, bei unseren bisherigen Annahmen, sogar für jede beliebige Gröfse der Schwankung zu gelten fort, wenn nur die negative Schwankung, sobald sie die Abscissenaxe erreicht, wie wir bereits übereingekommen sind, den Sinn einer Strömungsumkehr im Nerven erhält, obschon die abgeglichenen Elektricitätsmengen auch so noch lange aufserordentlich verschieden bleiben können. Ist die Gestalt der Curve gar nicht vorgeschrieben, so liegt es am Tage, dafs man mit einer und derselben Elektricitätsmenge in einer und derselben Zeit die allerverschiedensten physiologischen Wirkungen erzeugen kann. Das Maximum wird man erlangen, wenn man sie in unendlich vielen unendlich kurzen Stöfsen einwirken läfst, zwischen denen unendlich viele unendlich kleine Zeiträume liegen, während welcher die gleichsam kammförmige Curve bis zur Abscisse herabsinkt, oder gar sich unterwärts von derselben erstreckt. Der Differentialquotient ist auf diese Weise möglichst vervielfältigt und an möglichst vie-

len Punkten auf seinen gröfsten Werth, das Unendliche gebracht. Ebenso kann man begreiflich eine aufserordentlich grofse Wirkung durch Unterbrechen eines beständigen Stromes erlangen, welcher selbst also gar keine Erregung hervorgebracht haben würde, obschon die in gleichen Zeiten abgeglichene, z. B. durch das elektrolytische Aequivalent gemessene Elektricitätsmenge durch das Unterbrechen augenscheinlich verringert wird. Auf diesen Grundsätzen beruht, wie wir später sehen werden, [1] das Verfahren, auf elektrischem Wege tetanusähnliche Zusammenziehungen der thierischen Glieder zu bewirken.

Es ist demnach wohl hinreichend klar, dafs zwischen Elektricitätsmenge und physiologischer Wirkung durchaus keine wesentliche und unmittelbare, sondern vielmehr nur eine ganz zufällige, willkürliche und durch Nebenumstände vermittelte Beziehung stattfinde, und das Unstatthafte des Beginnens springt in die Augen, ein beständiges Zahlenverhältnifs zwischen diesen Gröfsen, einerseits durch das mechanische Moment der Muskelzusammenziehung, andererseits durch das elektrolytische Aequivalent ausgedrückt, auffinden zu wollen. Nichtsdestoweniger hat Matteucci dies in seinem Aufsatze unternommen: »*Mesure de la force nerveuse développée par le courant électrique,*« von dem unten (S. No. 3) noch ausführlich wird die Rede sein müssen.

## 2. Thatsächliche Bewährung der obigen Grundsätze.

In der Form, wie es so eben an die Spitze der ganzen Lehre von dem physiologischen Rheoskop gestellt worden ist, findet sich das obige Gesetz hier zum ersten Male ausgesprochen. Ich darf indefs nicht verhehlen, dafs die ausgedehnte Literatur der Reizversuche sowohl in der älteren als der neueren Zeit bereits manchen Ausdruck darbietet, der ganz nahe an die dargelegte Vorstellungsweise streift, so dafs wohl nicht gezweifelt werden kann, dafs das Wesentliche davon schon verschiedenen Forschern mehr oder weniger klar vorgeschwebt hat.

Der sonst so glücklich abstrahirende Volta ist denselben nicht beizuzählen. Auf die Frage, weshalb die elektrische Geschmacks- und Gefühlsempfindung eine stetige sei, das subjective elektrische Licht und die Zuckung hingegen nicht, »läfst sich,« sagt derselbe in seinem zweiten Briefe an Aldini, »keine weitere Antwort geben, als dafs die Dis»position der zum Sinne des Gesichts bestimmten, und der zur Bewe»gung der willkürlichen Muskeln dienenden Nerven von der Art ist, »dafs diese Nerven, ihrem Unterschied von denen des Geschmacks und »Gefühls zu Folge, schnell bei der ersten Anbringung eines Reizes,

[1] S. die folgende Nummer und unten, 3. Abschn., Kap. IV. §. II.

»und so auch auf den ersten Impuls der in Strömung versetzten elek»trischen Flüssigkeit, erregt werden, es ferner aber, während der »nämliche Reiz unverändert fortdauert, nicht mehr werden, »indem sie sich ihm auf gewisse Weise anbequemen, und so denselben, bei der Fortdauer des elektrischen Stroms mit der nämlichen »Stärke, nicht weiter empfinden.« [1] Aus den gesperrten Worten geht hervor, dafs VOLTA nicht das Ansteigen des Stromes von Null auf seine beständige Gröfse, sondern den Beginn desselben in dieser Gröfse selbst für das physiologisch Wirksame hielt. Die Oeffnungszuckung, deren richtige Deutung ihm dadurch allerdings weit entrückt wurde, erklärt er denn auch willkürlich genug durch ein Zurückbäumen des im Schusse begriffenen elektrischen Stromes gleich dem einer Welle, wenn plötzlich der Kreis unterbrochen werde. [2]

Ungleich tiefer freilich schaute in diesem Punkte unser RITTER, aber er wufste seine Betrachtungen in ein so wunderbares und undurchdringliches Dunkel zeitgemäfser Philosopheme zu verkleiden, dafs viel guter Wille dazu gehört, die darin versteckte Wahrheit zu entziffern, und dafs sie jedenfalls wirkungslos an seiner Mitwelt und seinen Nachfolgern vorüberging. [3] Auch PAUL ERMAN's Theorie der Zukkungen [4] setzt gleichfalls eine Grundanschauung des Vorganges der Erregung in den Nerven in unserem Sinne voraus. Zum allgemeinen Bewufstein aber drang dieselbe damals nicht durch und noch weniger geschah dies in dem langen Zeitraume, während dessen Reizversuche wie thierische Elektricität einstweilen der Vergessenheit anheimgegeben waren. So sieht man denn noch neuerdings POUILLET und VORSSELMAN DE HEER die physiologischen Wirkungen des Stromes der Dichtigkeit desselben schlechthin proportional setzen (S. oben S. 252. Anm.), obschon doch NOBILI seitdem wiederum, wenn auch nicht ausdrücklich, doch sehr unzweideutig den wahren Thatbestand auseinandergesetzt hatte. [5] MARIANINI ist die Kenntnifs des richtigen Verhaltens auch wohl kaum abzusprechen (S. unten). JOH. MÜLLER sagt in dem *Handbuch*

[1] RITTER's Beiträge u. s. w. Bd. II. N. 3. 4. S. 48. Anm. * — Vergl. eine ähnliche Ansicht von WILHELM WEBER in seinen »Elektrodynamischen Mafsbestim»mungen.« Abhandlungen bei Begründung der Königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften am Tage der zweihundertjährigen Geburtsfeier LEIBNITZens. Herausgegeben von der Fürstl. JABLONOWSKIschen Gesellschaft. Leipzig 1846. 4°. S. 289. *

[2] Ebendas.; — Vergl. oben S. 70 Anm. 3; — weiter unten, §. III. 2 (II).

[3] S. das 2. Stück des 2. Bandes seiner Beiträge u. s. w., aus dem wir übrigens sogleich zwei treffliche hiehergehörige Versuche entlehnen werden.

[4] S. unten, §. III. 2 (IV).

[5] S. unten, §. III. 2 (VI).

*der Physiologie u. s. w.* Bd. I. 3. Auflage. S. 628*: »Jede Verände-»rung der Statik des elektrischen Fluidums scheint .... Ursache zur »Erregung des Princips der Nerven zu werden« — und ebenso Dove in seinen *Untersuchungen im Gebiete der Inductionselectricität.* S. 84. 85,* mit Bezug auf eine verwickelte experimentelle Anordnung, welche an Ort und Stelle nachzusehen ist: »In diesem Falle würde »dann ein Strom von unveränderter Intensität durch den Körper gehen, »welcher als vollkommen gleichbleibender Reiz nicht empfunden wird, »wofür sich bei Froschversuchen entsprechende Erscheinungen finden. »Bei noch schnellerem Drehen werden dann wieder durch Zusammen-»fallen der Maxima Ungleichheiten der Intensität entstehen, welche em-»pfunden werden.«

Von Matteucci's Vorstellungen über diesen Punkt wird, wie oben schon bemerkt wurde, unten noch besonders die Rede sein müssen. Ich beeile mich jetzt, das vielleicht allzu lehrbegriffsmäfsig hingestellte Gesetz durch Anführung einer Reihe von Thatsachen zu unterstützen, welche meines Wissens bisher meistens ohne Bedeutung, jedenfalls ohne anerkannten Zusammenhang in dem vergessenen Vorrathshaufen der elektrischen Reizversuche brachgelegen haben, sich aber nun plötzlich, von dem Standpunkte jenes Gesetzes aus, zu einer fortlaufenden lichtvollen Bestätigung desselben zusammenfügen, so dafs es als ihr einfachster und unmittelbarster Ausdruck erscheint.

Hier liegt erstens augenscheinlich der Schlüssel zu der unglaublichen Empfindlichkeit des stromprüfenden Schenkels gegen die flüchtigste Spur von Reibungselektricität, wegen der ungemeinen Steilheit ihrer Abgleichungscurve. Volta's Versuche, durch die er zeigen wollte, eine wie geringe Menge von Elektricität nothwendig sei, ein solches Präparat in Zuckungen zu versetzen, um daraus einen Schlufs auf die Gröfse der freiwilligen Ladung zu ziehen, die er damals noch den thierischen Gliedern zuschrieb (S. oben S. 52): diese berühmten Versuche enthalten, wie man jetzt leicht sieht, eine höchst wahrscheinlich falsche, jedenfalls unbewiesene Voraussetzung, die nämlich einer gleichen Steilheit der reibungselektrischen Abgleichungscurve und derjenigen, in welcher der galvanische Strom seinen Kreis durchbricht.

Dies ist ferner unstreitig der Sinn des anderen Umstandes, der uns in der Geschichte des Froschstromes schon so häufig begegnet ist, dafs bei sehr schwachen Ketten oder bereits erschöpften thierischen Gliedmafsen, wo ein bejahendes Ergebnifs zweifelhaft ist, dasselbe dadurch merklich befördert wird, dafs man die Kette durch Anschleudern oder -Schnellen, oder durch Fallenlassen bald des Nerven selbst, bald eines anderen Theiles des Kreises schliefst. In dieser Gestalt glückte der

Galvani'sche Versuch ohne Metalle seinem Urheber zuerst, und so ward er am öftersten wiederholt. (S. oben S. 63. 65. 68. 83. 84. 86. 87. 97.) [1] So bestehen Galvani's [2] und ein Theil von v. Humboldt's Versuchen ohne Kettenverband [3] einfach darin, dafs man den Nerven eines sehr erregbaren Schenkels auf scheinbar gleichartige Metallflächen fallen läfst. Ritter [4] und Pfaff [5] haben dieselben später mannigfaltig abgeändert und auch Lehot [6] hat eine einzelstehende Beobachtung der Art. Unzähligemal ist in diesen Fällen der Gegenversuch mit Anschnellen des Nerven gegen andere Stoffe, Nichtleiter u. d. m. gemacht worden, um die Ueberzeugung zu gewinnen, dafs es nicht die mechanische Erschütterung des Nerven sei, welche die Zuckung bewirkt habe und stets ohne Erfolg, wie es zu erwarten war, da auch das Fallenlassen anderer Kettentheile die nämliche befördernde Wirkung ausübte. Einen in dieser Hinsicht besonders entscheidenden Versuch hat v. Humboldt. Der Nerv lag auf Zink, auf dem Zink Silber (*b*); um die Verbindung zwischen dem Silber und dem Muskel herzustellen, diente ein Stück »gekochten Schinkens, welches in einen langen aber schmalen Riemen »geschnitten war; das eine Ende desselben lag auf *b* auf, indem ich »das andere,« sagt v. Humboldt, »mit der Pinzette in der Luft hielt. »Drückte ich dieses allmälig und leise an den matten Froschschen»kel *l* an, so blieb derselbe ungereizt; liefs ich dasselbe aber etwa eine »Linie hoch auf *l* herabfallen, so erfolgten lebhafte Muskelerschütte»rungen.« [7] Einen ähnlichen Fall, wo Zuckungen an einem bereits ermüdeten Frosche dadurch wieder erhalten wurden, dafs der metallische, die sogenannten Armaturen des Nerven und Muskels verbindende Bogen »schnell genähert und sogleich wieder hinweggezogen« wurde, findet man im Berichte der Commission des National-Institutes in Ritter's »*Beiträgen zur näheren Kenntnifs des Galvanismus und der Resultate seiner Untersuchung.*« Jena 1800. Bd. I. St. 1. S. 56.*

Einen äufserst lehrreichen Gegensatz zu diesen Erfahrungen bilden

[1] Vergl. Pfaff in Gehler's physikalischem Wörterbuche u. s. w. Bd. IV. Abth. II. 1828. Artikel »Galvanismus« S. 706. d.*

[2] S. oben S. 65. — Vergl. Supplemento al Trattato dell' uso ec., in Opere edite ed edite ec. p. 286.*

[3] Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Bd. I. S. 63.*

[4] Gehlen's Journal für die Chemie, Physik und Mineralogie u. s. w. 1808. Bd. VI. S. 431.*

[5] Gehler's physikalisches Wörterbuch u. s. w. Ebendas., S. 708.*

[6] Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. IX. S. 207.*

[7] Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Bd. I. S. 194.*

nachstehende Versuche Ritter's, die ich mir vollständig mitzutheilen erlaube: »Wir werden..., was wir Schlag nennen, selbst bei den »stärksten Batterien, gänzlich vermeiden können, wenn wir uns in die »Kette derselben auf die Art begeben, dafs wir zuerst nur Ein Platten»paar derselben in diese nehmen, und darauf, während wir uns noch »in Geschlossenheit mit diesem Einen befinden, ein Zweites darein zie»hen, darauf die Verbindung mit dem ersten aufheben, dann zum Drit»ten fortgehen, darauf wieder die Verbindung mit dem zweiten auf»heben, und so fort, bis wir endlich beim hunderten, zweihunderten »Plattenpaare, od. s. w., angekommen sind. Man bewirkt dies auf fol»gende Weise. Man verbindet zwei Finger z. B. der linken Hand mit »der unteren oder äufseren Platte des letzten Plattenpaars z. B. auf »der Silberseite der Batterie, nimmt darauf einen zur Gabel gebo»genen Draht, an deren jede Spitze man etwas feuchtes Fleisch, nas»sen Schwamm, u. s. w., befestiget hat, in zwei Finger der anderen »Hand, und berührt mit dem einen Ende der Gabel (also dessen feuch»ter Armatur) die Zinkseite des gedachten Plattenpaars; indem »dies auf ihr aufliegt, schlägt man die Gabel so weit um, dafs man »mit ihrem anderen Ende (also u. s. w.,) die Zinkseite des Zweiten »Plattenpaars berührt, schlägt sie darauf wieder um, dafs ihr erstes »Ende, was während der vorigen Umschlagung so lange ruhig auf der »Zinkseite des Ersten Paars liegen blieb, bis das zweite mit der des »Zweiten Paars in Verbindung war, mit der Zinkseite des Dritten »verbunden wird; und fährt auf diese Art wechselnd fort, bis man »endlich bei der Zinkseite des Hunderten, Zweihunderten Platten»paars od. s. w., wirklich angekommen ist. Auf dem ganzen Wege bis »dahin empfand man nicht den mindesten Schlag, vorausgesetzt, »dafs nicht etwa eine Unvorsichtigkeit beim Versuch eine Unterbrechung »in das Ganze brachte.... Minder mühsam aber und zugleich wenn »es möglich ist noch instructiver wird der Versuch, wenn man eine »etwan 4 Fufs lange enge Röhre mit Wasser, zu beiden Seiten mit »sehr langen Drähten versieht, ihre Spitzen innerhalb der Röhre in die »möglichste Entfernung von einander stellt, den einen Draht in die »Finger der rechten Hand nimmt, während die der linken mit der »Silberseite der Batterie in Verbindung sind, den anderen aber sogleich »auf das letzte Plattenpaar der Zinkseite der Batterie auflegt, und nach »diesem die Drähte in der Röhre einander langsam entgegenschiebt oder »schieben läfst, bis sie endlich mit ihren Spitzen nur um ein äufserst »Geringes noch von einander abstehen.« Man könne »durch eine Reihe »von Uebergängen von einem sehr langsamen Annähern der Drähte bis »zu einem so schnell als möglichen die Constructionsweise des Schlages

»selbst aufs belehrendste belauschen;« [1] d. h. in unsere Sprache übersetzt, Ritter's Röhre ist eine sinnreiche Vorrichtung, um die Steilheit der Dichtigkeitscurve in dem Körper des Beobachters nach Willkür zu vergröfsern und zu verringern. Das Herausschleichen aus dem Kreise auf dieselbe Art scheint Ritter nicht versucht zu haben. Uebrigens hatte er, wenn hinlänglich viele Lagen in die Kette aufgenommen waren, auf beiden Seiten die eigenthümlichen Empfindungen, die er als »Expansion« und »Contraction« zu bezeichnen pflegt. [2]

Den nämlichen Versuch hat Marianini, augenscheinlich ohne von Ritter's Erfahrung zu wissen, wie man zu sagen pflegt, objectiv gemacht. Er wollte erfahren, ob die Oeffnungszuckung auch statthaben könne, ohne dafs die Schliefsungszuckung dagewesen sei? Ein Frosch befand sich in dem noch offenen Kreise einer Säule von acht Plattenpaaren; er schlofs denselben mit völlig trockenem Finger in zwei Gefäfsen, wobei der Frosch, wegen der Unvollkommenheit der Leitung, die sich erst allmälig durch die Oberhaut ausbildete, ruhig blieb. Als er die Finger entfernte, fand die Oeffnungszuckung statt. [3]

Matteucci empfiehlt, bei Anwendung von Nobili's elektrischer Heilmethode des Tetanus [4] den Kranken so allmälig in den Kreis der Säule einzuführen, dafs dabei keine Schliefsungszuckung zu Stande komme, und bewerkstelligt dies dadurch, dafs feuchte Leinwandstreifen, die mit den Polen der Säule in Verbindung stehen, nach und nach verkürzt und mit gröfseren Hautflächen in Berührung gebracht werden. [5]

Dafs eine blofse Schwankung der Dichtigkeit, bei genügender Steilheit, hinreiche, um Zuckung zu bewirken, hat Marianini a. a. O. gleichfalls gezeigt. Ein Frosch tauchte mit Kopf und Füfsen in zwei Gefäfse, in denen sich gleichzeitig die Enden einer sechsgliedrigen Volta'schen Tassenvorrichtung befanden. Beim Eintauchen eines metallischen Bogens in die beiden Gefäfse, wodurch die Dichtigkeit des Stromes in den Nerven plötzlich verringert wurde, gab der Frosch die Oeffnungszuckung. Auch an sich selbst erkannte Marianini dieselbe, wenn er mit zweien Fingern einer Hand zwischen den Gefäfsen schlofs (Ibid., p. 234. 235). Hat die Säule 20, 30 und mehr Elemente, so kann man auch den Versuch anstellen, indem man die Nebenschliefsung

[1] Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 2. S. 44 ff. St. 3. 4. S. 166. 168.

[2] S. unten No. 4. — §. III. 2 (v). A. c.

[3] Annales de Chimie et de Physique. Mars 1829. t. XL. p. 234.

[4] S. unten §. III. 2 (vi). B. a. δ.

[5] »On fait pour cela terminer les deux pôles de la pile par des bandes de »toile qu'on mouille et qu'on applique lentement sur la peau.« Bibliothèque universelle etc. Mars 1838. Nouvelle Série. t. XV. p. 188. — Essai etc. p. 29.

zwischen der zweiten und vorletzten Tasse, oder überhaupt zweien nicht weit von den äufsersten Elementen entfernten anbringt. Bei allmäliger Oeffnung des Kreises oder Ablenkung des Stromes finde keine Oeffnungszuckung statt (p. 245. 246).

Einen Versuch, welcher auf den nämlichen Grundsätzen beruht, hat bereits Ritter. S. Fig. 15. Taf. I. Hier findet Zuckung statt, wenn der Nerv sich selbst am Punkte *a* berührt. Die Erscheinung erklärt sich nach den Ohm'schen Gesetzen leicht: Im Augenblick der Berührung theilt sich der Strom in zwei Theile, welche von sehr ungleicher Stärke sind, da der Widerstand des Kreuzungspunktes gegen den der Schleife sehr klein gemacht werden kann, und aufserdem entgegengesetzte Richtung in dem Nerven haben, wie von mir durch Pfeile angedeutet ist. Die ganze Strecke des Nerven, die in der Schleife begriffen ist, wird also nicht nur von dem Strome frei, sondern sogar von einem allerdings viel schwächeren umgekehrten Strome betroffen, was, wie wir zum Theil noch erfahren werden, eine sehr günstige Bedingung für die Erscheinung von Zuckungen ist. Ritter hat diesen Versuch noch mannigfaltig abgeändert [1] und auch Paul Erman bestätigt sein Gelingen. [2]

Später hat Marianini eine Art ersonnen, eine ähnliche Schwankung des Stromes herbeizuführen, ohne sich des Kunstgriffs einer anzubringenden Nebenschliefsung zu bedienen. Die Kette wird nämlich in Quecksilber geschlossen, welches mit einer einige Millimeter dicken Wasserschicht bedeckt ist. Wird der ins Quecksilber tauchende Leiter so herausgehoben, dafs er noch im Wasser bleibt, so sieht man gleichwohl die Oeffnungszuckung erfolgen. [3]

In den ersten Zeiten des Galvanismus ward häufig die Bemerkung gemacht, dafs wechselseitiges Reiben, Schleifen, Erschüttern zweier die Kette schliefsenden Theile das Erscheinen der Zuckungen befördere. Es sind zwei verschiedene Arten von Fällen zu unterscheiden; solche, in denen metallische Kettenglieder einander trafen, und solche, in denen feuchte Leiter an Metallen hinbewegt wurden. In den ersteren ist wohl durchweg mehr an ein fortwährendes Oeffnen und Wiederschliefsen des Kreises zu denken, in den letzteren handelt es sich um Veränderungen der Polarisation, wie sie in den S. 212 Anm. angeführten Versuchen von Vorsselman de Heer und Faraday eine Rolle spielen.

[1] Beweis, dafs ein beständiger Galvanismus den Lebensprocefs in dem Thierreich begleite. S. 113. Taf. II. Fig. 68—70.

[2] Abhandlungen der Königl. Preufs. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Aus den Jahren 1812—1813. 4°. S. 158. 164. Fig. 4. 5.

[3] Annales de Chimie et de Physique. Juin 1844. 3. Série. t. XI. p. 396.

Was die erstere Form des Versuches betrifft, so räth schon Galvani, im Nothfalle die beiden freien Enden der mit ihren beiden anderen Enden an den thierischen Theilen anliegenden Bogenhälften aneinanderzureiben, um die Zuckung hervorzulocken. [1] Pfaff erzählt: »Wenn der Excitator mit seiner Fläche oder seinem scharfen Rande »über die Fläche der Nervenarmatur leicht und schnell hinbewegt, und »gelind daran gerieben wurde, so waren die Zuckungen weit lebhafter, »als wenn die Berührung nur in einem Punkte geschah. In jenem »Falle schienen, so lange das Fortbewegen des Excitators dauerte, die »Muskeln nie zu einer vollkommenen Erschlaffung zu kommen, sondern »ihre Zusammenziehung und Aufschwellung schien anhaltend zu sein, »oder wenn sie auch etwas nachliefs, sich plötzlich wieder mit er»neuerter und vermehrter Stärke zu zeigen.« Legte er auf die Muskeln eine schwere Zinkstange, und liefs ihr Ende auf der Nervenbewaffnung aufruhen, so waren die Zuckungen, ohne weiteres Hinzuthun, anhaltend, weil die Muskelbewegung selbst die Rolle des Unterbrechens oder Schwankenmachens der Dichtigkeitscurve übernahm. Wurde jedoch das eine Metall fest an das andere angedrückt, so dafs die Leitung am Berührungspunkte, trotz der Verschiebung, unverändert bleiben mufste, so fand keine Erneuerung oder Fortdauer der Zuckungen statt. [2] Die untenerwähnte Commission hat noch folgenden Versuch, der der zweiten Klasse der eben in Rede stehenden angehört: »Als man nach dem Aufhören der Contraction den Nerven auf der »Zinkplatte, die ihm zur Unterlage diente, dergestalt hingleiten liefs, »dafs er, ohne sich von ihr zu entfernen, blos seine Berührungspunkte »mit ihr veränderte: so erneuerten sich diese Bewegungen sogleich.« Hieher gehören endlich E. Harless in neuester Zeit angestellte Versuche. Der eine Pol einer Kette von zwei Quadratzoll Oberfläche ward an die Haut, der andere an das Rückenmark eines enthaupteten Frosches angebracht. Unter diesen Umständen hatte das gelindeste Anschlagen mit einem Hämmerchen an den Tisch die heftigsten 7 — 8 Secunden andauernden Convulsionen zur Folge. Dasselbe fand statt, als, um den Verdacht auf Reflexbewegungen zu verbannen, ein blofser

[1] S. oben S. 46. — Opere edite ed inedite ec. Commentarius etc. p. 83; — Trattato dell' uso ec. p. 163. 257. 258. * — Aloysii Galvani etc. Commentarius cum Joannis Aldini Dissertatione et Notis. Mutinae 1792. 4°. p. 50. Nota. *

[2] Gren's Journal der Physik. 1794. Bd. VIII. S. 206. 271 ff. * — Ueber thierische Elektricität und Reizbarkeit. 1795. S. 52. 144. 145. * — v. Humboldt, Versuche u. s. w. Bd. I. S. 192. * — Bericht der Französischen Commission in Ritter's Beiträgen u. s. w. Bd. I. St. 1. S. 57. 58. * — Ritter, Beweis, dafs ein beständiger Galvanismus u. s. w. S. 87. *

stromprüfender Schenkel auf dieselbe Art bewaffnet wurde; ja, bloſse Erschütterung eines Theils des Schlieſsungsdrahtes reichte hin, um Tetanus zu bewirken, obschon die Elektroden am Frosch mit Hülfe einer Schrauben-Vorrichtung befestigt waren. Das Metall der Elektroden ist nicht genannt, wahrscheinlich war es eines der negativeren, leichter polarisirbaren. Daſs die Erscheinung wirklich auf plötzlicher Verminderung der Polarisation beruhte, geht daraus hervor, daſs die Nadel eines eingeschalteten Multiplicators einen Ausschlag in dem Sinne des Stromes zeigte. [1] Schon G. R. Treviranus hat einen ganz ähnlichen Versuch. [2]

Alle diese Fälle sind, wie man sieht, im Wesentlichen nichts anderes als unabsichtliche Verwirklichungen der oben S. 261 entwickelten Grundsätze, um mit möglichst kleinem Aufwande an Elektricität möglichst groſse physiologische Wirkungen zu erzeugen. Die Erörterung, wie und mit welchen Vorrichtungen dies am besten und mit dem bestimmten Zwecke, möglichst lang andauernden elektrischen Tetanus zu erzeugen, auszuführen sei, auch worauf die alsdann stattfindende Erscheinungsweise der Zuckungen als Tetanus beruhe, nebst der Durchmusterung der betreffenden Literatur, versparen wir auf eine spätere Gelegenheit, wo sich für uns ein mehr unmittelbares Interesse daran knüpfen wird; [3] um so mehr, als von der Richtigkeit des Princips in diesem Punkt ein Jeder durchdrungen sein dürfte, der sich jemals in dem Kreise einer schnell gedrehten Saxton'schen Maschine befunden hat.

Es bleibt uns übrig, die Wirkungsweise solcher Ströme im Versuch zu betrachten, durch welche eine gegebene Elektricitätsmenge in veränderlicher Zeit und in continuirlicher, von Null ausgehender und nach Null zurückkehrender Curve abgeglichen wird. Unter diesen Umständen wächst die Stärke der Erregung in einem umgekehrten Verhältnisse mit der Zeit, in der die Abgleichung geschieht, und »man »fühlt daher die Abscisse«, wie sich mein verehrter Lehrer, Herr Professor Dove, mündlich gegen mich ausdrückte. Dies ist der Sinn der Erfahrung, daſs man, mit Spitzen bewaffnet, oder durch eine nasse Schnur, durch ein Rohr mit destillirtem Wasser, eine Batterie ohne Gefahr entladen kann, welche, ihren unverzögerten Schlag ertheilend, eine niederschmetternde Wirkung äufsern würde. Deshalb giebt dieselbe Elektricitätsmenge $q$, auf zwei ungleiche Glasbelege $s'$ und $s''$ vertheilt, von dem kleineren derselben aus, wegen des gröfseren Ver-

[1] Müller's Archiv für Anatomie, Physiologie u. s. w. 1845. S. 43.

[2] Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VIII. S. 53. (10).

[3] S. unten, 3. Abschn., Kap. IV. §. II.

hältnisses $q : s$, wodurch die Geschwindigkeit der Entladung bestimmt wird, den heftigeren Schlag, wovon ich mich noch kürzlich durch die Güte des Herrn Dr. Riess an seinen herrlichen Geräthschaften zu überzeugen Gelegenheit gehabt habe. Deshalb verstärken eingelegte Drahtbündel bei gleicher absoluter Elektricitätsmenge den Schlag einer Inductionsrolle mehr als massive Eisenkerne, weil in den ersteren kein Inductionsstrom das Maximum der magnetischen Polarität verzögert.[1] Anschaulicher noch wird derselbe Umstand bei den Inductionsströmen durch Bewegung. Man weifs, dafs die Summe der elektromotorischen Kräfte, welche die Bewegung eines Leiters vor einem Magneten oder einem anderen stromführenden Leiter in dem ersten Leiter erregt, von der Geschwindigkeit dieser Bewegung unabhängig, und allein durch die Lage und Länge des beschriebenen Weges bedingt ist. Allein ein langsam in eine Inductionsrolle eingeschobener Magnetstab läfst den empfindlichsten Froschschenkel, der in ihren Kreis eingeschaltet ist, unbewegt; erst bei einer gewissen Geschwindigkeit tritt ein leises Zucken ein, welches sich bei wachsender Schnelligkeit bis zum heftigsten, viele Secunden lang andauernden Starrkrampfe steigern kann.

Nach unseren obigen Voraussetzungen würde dieses Alles nicht deshalb sein, weil dabei zugleich die absolute Gröfse der Ordinaten $\Delta$, deren Summe, mit der unendlich kleinen Zeiteinheit multiplicirt, stets einen und denselben Flächenraum bedecken soll, zunimmt, sondern weil mit dieser Zunahme zugleich nothwendig der Unterschied zweier einander zunächst gelegenen unter denselben, d. h. die Steilheit der Dichtigkeitscurve auf allen Punkten wächst. Es wird sich indefs später zeigen (S. unten, No. 4), dafs jene Voraussetzungen, was die subjectiven Stromprüfungen anlangt, einer Einschränkung bedürfen, welche oben, um zunächst eine deutliche Grundlage für die Erörterung zu gewinnen, aus dem Spiel gelassen worden ist, und derzufolge doch der letztangeführte Umstand nicht ganz allein das Bedingende der stärkeren Wirkung der in einem kürzeren Zeitraum zusammengedrängten Abgleichungsvorgänge sein würde.

Endlich giebt unser Gesetz uns noch den Schlüssel zu der bisher eben stets als blofse Thatsache ohne weiteres Verständnifs hingestellten Erscheinung, dafs die Zitterfische nicht mit beständig wirkenden säulenähnlichen elektromotorischen Vorrichtungen versehen sind, sondern nur Schläge von äufserst kurzer Dauer, diese aber sehr häufig hintereinander in sehr kleinen Zwischenräumen zu ertheilen vermögen. In der That

[1] S. Dove's Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität. S. 35. No. 35. — Vergl. unten, §. IV.

würde denselben mit Strömen von beständiger Kraft wenig geholfen gewesen sein, da sie nur zu Anfang und zu Ende derselben über physiologische Wirkungen geboten, während ihrer ganzen Dauer aber einem erschöpfenden Stoffverbrauch und einer mehr oder minder gefahrbringenden Elektrolyse sich ausgesetzt befunden haben würden: dagegen nun vielmehr ihre elektrische Waffe als die zweckmäfsigste Verwirklichung der oben S. 261 entwickelten Bedingungen erscheint, wodurch Maximum der physiologischen Wirkung und Minimum der Elektricitätsmenge und des Stoffverbrauchs verknüpft sind.

Es liegt nahe, am Schlusse dieser Aufzählung die Möglichkeit in Erwägung zu ziehen, ob eine genauere Prüfung des Gesetzes vorzunehmen sei, als sie in den vorgelegten Erfahrungen enthalten ist; eine solche nämlich, bei der sich entweder numerisch die einfache Proportionalität der Erregung mit der Summe der Differentialquotienten (Formel III) nachweisen, oder die unbekannte Function ($F$) in den I, II sich empirisch bestimmen liefse. Leider ist es bis jetzt kaum abzusehen, wie dies jemals gelingen könne. Das Endergebnifs der Gesammterregung der Bewegungsnerven ist Muskelzusammenziehung. Es ist denkbar, obschon hier noch Alles zu thun übrig bleibt, dafs es glücken werde, ein Mafs der dabei entwickelten Kraft zu erhalten. Ebenso ist es denkbar, obschon auch hier kein bekannter Weg offen steht, dafs man es dazu bringe, sich einen Strom von bestimmter, bekannter und hinreichend einfacher Dichtigkeitscurve zu verschaffen. Am geeignetsten würde natürlich die geradlinige Gestalt dieser Curve sein,

$$\Delta = at + b,$$

wo man denn, was ohnehin einleuchtet, für

$$\varepsilon = F_{(a)}$$

$$\eta = F_{(a)} \cdot [T_1 - T]$$

erhielte.[1] Da der Muskel ein Maximum der Zusammenziehung hat,

[1] Durch blofse Veränderung des Widerstandes eines Theiles der Kette würde man, wie aus der Ohm'schen Formel ersichtlich ist, eine hyperbolisch gestaltete Dichtigkeitscurve erhalten. Damit dieselbe eine Gerade würde, müfste man haben

$$I = at + \beta = \frac{k}{w + x},$$

worin $I$ die Stromstärke, $k$ die elektromotorische Kraft, $w$ den beständigen, $x$ den veränderlichen Theil des Widerstandes, $t$ die Zeit, $\alpha$ und $\beta$ Constanten bedeuten; mithin

$$x = \frac{k}{at + \beta} - w,$$

was mit der hinreichenden Geschwindigkeit nicht leicht zu verwirklichen sein möchte. Sonst brauchte man nur einen Rheostaten anzuwenden, dessen Walze, anstatt cylindrisch zu sein, die Gestalt des Rotationskörpers hätte, der durch die obige Curve

welches er nicht überschreiten kann und dieses Maximum in einer gewissen Zeit erreicht, so müfsten Dauer und Gröfse der Schwankung so gewählt sein, dafs die bewirkte Zusammenziehung der Zeit und Gröfse nach innerhalb dieser beiden Grenzen bliebe. Vorausgesetzt aber, alle diese Hindernisse seien überwunden, so würde man, aller Wahrscheinlichkeit nach, noch immer weit vom Ziele sein, und zwar deshalb, weil die nun beobachtete Gröfse der mechanischen Wirkung unstreitig noch durch eine Reihe unbekannter und sehr verwickelter Functionen mit der berechneten verknüpft ist. Ganz gewifs ist zunächst dieses, dafs die wirklich zu messende Resultante der Zusammenziehung gar kein Mafs der in den Muskeln frei werdenden Kraft ist, sondern nur irgendwie mit derselben wächst. Diese Kraft hat man sich, wie bemerkt (S. oben S. 259), zu denken als die Summe von Geschwindigkeiten, welche während des ganzen Vorganges, in jedem Zeittheilchen, den Massetheilchen des Muskels mitgetheilt werden. Allein erstens können sich in jedem Augenblicke diese Geschwindigkeiten auf sehr mannigfaltige Weisen untereinander zusammensetzen; für's zweite ver-

zwischen $x$ und $t$ durch Drehen um die Axe der Zeiten erzeugt würde. Einen passenderen Weg dürfte die Veränderung des Widerstandes einer Nebenschliefsung darbieten, der gegen den der ungespaltenen Stromstrecke und des Nebenzweiges, worin die Stromstärke sich mit der Zeit linear verändern soll, nahezu verschwindet. Man hat nämlich alsdann (S. die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet von G. S. Ohm. Berlin 1827. S. 193 ff. §. 28.*)

$$I = \frac{kx}{(W + w)x + Ww},$$

wo $I$, $k$ und $x$ ihre obige Bedeutung haben, $W$ den Widerstand der ungespaltenen Stromstrecke, $w$ den des Nebenzweiges vorstellen, in den der Nerv zwischen nicht polarisirbaren Elektroden eingeschaltet sein mufs. Ist $x$ sehr klein im Verhältnifs zu $W$, $w$, so verschwindet im Nenner das erste Glied gegen das zweite und es bleibt ein mit $x$ sich geradlinig in der Zeit verändernder schwacher Strom

$$I = \frac{k}{Ww} \cdot x$$

zurück. Die Schwäche desselben würde nichts zu sagen haben, da man erstens hier nur sehr geringer Stromeskräfte bedarf, und da es fürs zweite stets unbenommen bleibt, durch Einführung mehrerer Elemente $k$ zu vergröfsern, wodurch zugleich der Zweck der relativen Erhöhung von $W$ unterstützt wird; $w$ wird, wegen der Gegenwart des Nerven darin, stets schon an und für sich sehr grofs ausfallen. Man sorge für die möglichste Gleichheit von $W$ und $w$, damit ihr Product, bei gleicher Summe, ein Maximum werde. Es scheint mir, als ob dieses Mittel, eine geradlinige Schwankung der Dichtigkeitscurve herbeizuführen, zunächst ausreichen möchte; es würde sich sonach nur noch um die mechanische Schwierigkeit handeln, die Widerstandsveränderung mit einer ziemlich bedeutenden, gleichförmigen, nach Gefallen zu beherrschenden und stets bekannten Geschwindigkeit ins Werk zu setzen, wozu ich freilich in diesem Augenblicke die geeigneten Mittel noch nicht absehe.

schieben sich dabei unstreitig die wirksamen Theilchen gegeneinander, und die Geschwindigkeit, die in einem gewissen Zeittheilchen einer gewissen Gröfse des Erregungsdifferentiales $d\eta$ entspricht, wird demnach unzweifelhaft verschieden sein nach der bereits stattgehabten Gröfse der Verschiebung. Sodann trifft der Muskel bei seiner Zusammenziehung in sich selbst auf mechanische Widerstände, die von der Spannung seiner elastischen Hüllen abhängen, und, wie später ausführlich gezeigt werden wird, das Gesetz seiner wechselnden Kräfte gänzlich trüben und verdecken. Möglicherweise liefsen sich diese Schwierigkeiten umgehen, indem man das Hindernifs, welches man der Zusammenziehung des Muskels entgegenstellt, und dessen Hinwegräumung das Mafs seiner Leistung abgeben soll, so einrichtete, dafs er, welches auch seine Anstrengung sei, annähernd immer eine und dieselbe Länge behielte. Kennten wir aber auch die reine Summe der Kräfte in jedem Augenblicke, so steht nichts dafür, dafs sie dem Erregungsdifferentiale einfach proportional sei, vielmehr ist dies das bei weitem Unwahrscheinlichere. Endlich wissen wir noch nicht, ob das, was von der Nervenausbreitung anlangend die Muskelzusammenziehung bewirkt, der Erregungsgröfse in der vom Strome unmittelbar betroffenen Nervenstrecke proportional, oder abermals eine unbekannte verwickelte Function davon ist.

An ein Eindringen der mathematischen Betrachtung in solch ein Labyrinth ist begreiflich nicht zu denken. Dies verbietet schon die verwickelte Gestalt und der besondere Aggregatzustand der organischen Gebilde, selbst wenn man über eine hinreichend berechtigte Annahme hinsichtlich der Anordnung der Kräfte im Innern derselben geböte. Was den Versuch betrifft, der früher oder später jedenfalls angestellt werden mufs, so haben wir erst den kleinsten Theil der unermefslichen Schwierigkeiten erwogen, die sich seinem Gelingen entgegensetzen. Da kommen in Betracht unzählige aufs strengste zu berücksichtigende und doch in ihrer Gesammtheit und Wandelbarkeit so schwer zu beherrschende Nebenumstände: das Zeichen des Differentialquotienten der Dichtigkeitscurve (S. den folgenden Paragraphen), die absolute Dichtigkeit im Nervenquerschnitt [S. unten, No. 4. (II)], die Länge der dem Strome ausgesetzten Nervenstrecke [S. ebendas., (III)], die Lage dieser Strecke näher oder entfernter dem Ursprunge oder der Ausbreitung des Nerven [S. den folgenden Paragraphen. 2. (II)], die Zeit, die seit der Trennung vom Gesammtorganismus oder wenigstens dem Centralnervensystem verstrichen ist, diejenige, während welcher der Nerv bereits der Einwirkung des Stromes ausgesetzt war [S. ebendas. 2. (VI) B. a.] u. s. w.

## 3. Matteucci's Messung der durch den elektrischen Strom entwickelten Nervenkraft.

So trostlos sieht es in der organischen Physik aus, wenn man wirklich einmal an eine genaue Zergliederung der Erscheinungen sich hinanwagen will.

Matteucci indeſs hat sich dies Alles viel leichter gemacht. In seinem Aufsatze: »*Mesure sur la force nerveuse développée par le courant électrique*« [1] bemüht sich dieser Forscher, die Menge Zinks zu bestimmen, die in einer Kette aufgelöst wird, deren Strom, auf den Nerven angewandt, durch seine Vermittelung eine gewisse mechanische Wirkung hervorbringt.

Dieser Plan ist im innersten Kerne falsch. Zwar ist der Zinkverbrauch das Maſs der Elektricitätsmenge, welche den Nerven getroffen hat; allein, nach den oben dargelegten Grundsätzen, diese Elektricitätsmenge selbst hat ja mit der hervorgebrachten Nervenerregung gar nichts zu schaffen; mit dem elektrischen Aequivalente einer und derselben Menge Zink kann man die verschiedensten physiologischen Wirkungen erzeugen; mit dem einer unendlich geringen Zinkmenge eine beliebig groſse, mit dem einer unendlich groſsen eine völlig unmerkliche. Aber Matteucci, obschon seit so langen Jahren dem Studium der Elektrophysiologie hingegeben, ahnt von dem allgemeinen Gesetze der Nervenerregung durch den Strom Nichts! So könnten wir uns der näheren Würdigung dieser Arbeit ganz und gar als überhoben betrachten, was äuſserst wünschenswerth sein würde, da sie, wo sie verständlich ist, kaum einen Satz enthält, der nicht zu den gewichtigsten Ausstellungen Anlaſs gäbe; indeſs der Umstand, daſs ihr Urheber dieselbe in Frankreich sowohl als in England hat geltend machen können, ohne bisher einen öffentlichen Widerspruch erfahren zu haben, bewegt mich, auch hier die Mühseligkeit der Kritik über mich zu nehmen.

Matteucci sagt: ».... Les analogies que nous admettons en physique entre la chaleur, l'électricité et la lumière se trouvent dans le même degré entre l'électricité et la force nerveuse. C'est en partant de ce point de vue, que j'ai cru du plus grand intérêt de résoudre ce problème: quelle est la quantité des forces nerveuses qui peut être développée par une quantité donnée d'électricité? Je poserai plus

[1] Annales de Chimie et de Physique. Juin 1844. 3. Série. t. XI. p. 403; — Juillet. t. XII. p. 255. — Comptes rendus etc. 16 Septembre 1844. t. XIX. p. 563. — The Philosophical Magazine etc. February 1845. 3. Series. vol. XXVI. p. 176.

»clairement ma question. Je fais passer un courant électrique le long »des nerfs d'un animal, en ayant un voltaïmètre dans le circuit; je »mesure l'effort musculaire qui est excité par le passage du courant, »et en supposant que le circuit soit interrompu au moment même que »la contraction a cessé, je puis mesurer la quantité d'électricité qui »est passée, en connaissant la quantité d'eau qui est décomposée, et »déduire par là la quantité de zinc qui, en s'oxydant, a développé le »courant qui, dans son passage par les nerfs, a produit l'effort muscu»laire trouvé.«

Auf folgende Weise glaubt Matteucci die experimentellen Schwierigkeiten der Aufgabe überwunden zu haben, die er sich gestellt hatte. In eine Messingklemme, die von einem Ständer getragen wird, spannt er die Wirbelsäule eines unter den Armen querdurchschnittenen, enthäuteten und ausgeweideten Frosches ein, bindet die Beine desselben in der Mittelfufsgegend mittelst eines seidenen Fadens zusammen, und hängt an den Faden einen 50$^{mm}$ langen Eisendraht, dessen unteres Ende mit einem Bleiwürfel beschwert ist, mit dem zusammen er 5.5$^{gr}$ wiegt; oder er hakt auch den oben gekrümmten und zugespitzten Draht unmittelbar in beide Mittelfüfse ein. Der Würfel läuft ohne Reibung in einer hölzernen senkrechten Rinne auf und nieder, deren einer Rand auf Millimeter getheilt ist; ein mit Wachs an das Gewicht geklebter Strohhalm dient als Zeiger, um die Stellung desselben abzulesen; quer durch das Becken ist aufserdem, hinter den Ischiadnerven vorbei und dicht über der Symphysis pubis, eine Kupfer- oder Platinnadel geführt. »On voit très-aisément,« sagt Matteucci, »qu'en touchant avec le »rhéophore d'une pile la pince de laiton, et avec l'autre l'aiguille de »cuivre, le courant passera à travers le bassin et, par conséquent, à »travers les nerfs lombaires. La grenouille se contracte, le poids est »soulevé et l'index monte d'un certain nombre de millimètres qu'on »parvient à lire aisément avec un peu d'habitude.«

Hier ist etwas Unbegreifliches. Wenn man, vom Ischiadnerven aus, die Beine eines Frosches zur Zusammenziehung anregt, so wirkt man gleichmäfsig auf Strecker und Beuger. Bei dem Uebergewicht der ersteren ist aber demzufolge das Ergebnifs der Reizung bekanntlich nicht Beugung, sondern Streckung. Jeder, der einmal ungleichartige Metalle einem Frosch angelegt hat, wird demnach hier Matteucci fragen, wie es möglich gewesen sei, dafs das Gewicht in seinen Versuchen gehoben wurde. Es scheint undenkbar, dafs dies habe der Fall sein können; es läfst sich nichts erwarten, als dafs dasselbe im besten Falle unverrückt hängen bliebe, wahrscheinlich aber noch nach unten gestofsen würde.

Ich habe, nicht zufrieden mit unzähligen, bei anderen Gelegenheiten gemachten Erfahrungen, mir eine Vorrichtung hergestellt, welche der von Matteucci beschriebenen möglichst genau entsprach, und Folgendes gesehen. Im Augenblick der Zusammenziehung fand stets und unbedingt die kräftigste Streckung statt. Von einem unmittelbaren und wirklichen Heben des Gewichtes kann unter diesen Umständen nun und nimmermehr die Rede sein. Allerdings aber bewegte sich in meinen Versuchen dasselbe um ein Geringes in die Höhe, und zwar aus zwei Ursachen. Erstens nämlich ist, nach Matteucci's Angabe, die Wirbelsäule in einer Klemme unverrückbar befestigt. Die Folge davon ist, dafs der Frosch sich bei seinen Streckungen im Kreuz nach hinten biegt, wobei die Füfse einen Kreisbogen von etwa 20° um die Klemme als Mittelpunkt beschreiben. Dabei geschieht natürlich ein Heben des Gewichtes, welches aber alsbald sehr vermindert wird, wenn man die Ossa ilium und das Os coccygis durchschneidet, so dafs die Beine nur noch an der Muskelmasse des Ileo-coccygeus Dug. hängen, wo denn jenes sich Rückwärtssteifen nicht mehr stattfinden kann. Die geringe Hebung, die jetzt etwa noch übrig bleibt, verschwindet völlig, wenn man, statt eines merklichen Gewichtes, die Füfse nur mit einem leichten Zeiger versieht. Man erkennt daraus, dafs sie von Nichts herrührte, als dem Umstande, dafs das Gewicht das erschlaffte Präparat mehr auszudehnen vermag, als das zusammengezogene.

Diese Bewegungen des Gewichtes nun müssen es sein, durch welche Matteucci sich hat in dem Grade täuschen lassen, dafs er eine Streckung für eine Beugung angesehen hat; sie sind es, die er alsdann als das directe Mafs der Nervenerregung durch den elektrischen Strom in Rechnung gebracht hat. Mit welchem Rechte, überlasse ich dem Leser selbst zu beurtheilen.

Es scheint übrigens, dafs bereits anderwärts, wenn auch nicht öffentlich, Matteucci Einwendungen gegen dieses Verfahren zu hören gehabt hat. Denn es heifst später: »En effet, le courant électrique »qui excite les nerfs lombaires d'une grenouille détermine la contraction »dans toutes les masses musculaires des membres, et il est évident »que le mouvement que nous mesurons n'est que la différence entre »l'effet des contractions qui le favorisent et celui des contractions qui »le contrarient. En effet, j'ai vu, en faisant fonctionner mon appareil »en présence de M. Breschet et d'autres anatomistes, qu'en coupant »les tendons des muscles antérieurs des cuisses de la grenouille dispo»sée dans mon appareil, le poids était soulevé à une hauteur double »de celle à laquelle il arrivait avant l'opération.« Hier ist Matteucci's Irrthum klar ausgesprochen, dafs er die Hebung des Bleiwürfels von

einem nie vorhandenen Uebergewichte der Beuger über die Strecker herleitet, und keinesweges reichte, um reine Beugung zu erhalten, die Durchschneidung der Sehne des grofsen Unterschenkelstreckers aus, sondern mindestens auch die Achillessehne mufste von ihrer Anheftung an der Streckseite des Mittelfufses getrennt werden.

Lassen wir Matteucci in diesem Punkt gewähren, so ist nun sein Gang folgender. Während der 100 ersten Zusammenziehungen, die er durch den Strom hervorbringt, soll das Gewicht in den 10 ersten um $4^{mm}$, in den 20 folgenden um $3^{mm}$, in den übrigen 70 um $2^{mm}$ gehoben werden. »Voici comment a été calculé l'effort musculaire de la gre»nouille. La grenouille, en se contractant, soulève non seulement le »poids attaché à ses jambes, mais encore une partie de son corps. Si »l'on fait attention à la manière avec laquelle elle se contracte dans »notre expérience, on verra que le morceau de colonne vertébrale »reste en repos, et que les cuisses se soulèvent très-peu en compa»raison des jambes. On peut donc dire, pour trouver quel est le »poids du corps de la grenouille qui se soulève dans la contraction, »et quelle est l'élévation du centre de gravité de ce poids, que les »jambes seules se soulèvent à la même hauteur que le cube de plomb.«

Matteucci veranschlagt nun die Unterschenkel des Frosches im Mittel zu $2.86^{gr}$, setzt dies zu den $5.5^{gr}$ des Bleiwürfels mit Zubehör und hat so als angebliche Arbeitsgröfse zweier Froschbeine in Pausch und Bogen $8.36^{gr}$, die während der noch zu bestimmenden Zeit einer Zusammenziehung im Mittel auf $2.4^{mm}$ gehoben werden; eine in der That nicht übertriebene Schätzung, da z. B., wie ich, indem ich dieses schreibe, mit Augen sehe, ein einzelner Gastroknemius von nur $770^{mgr}$ Gewicht, auf den Reiz eines einfachen Zinkplatinbogens,[1] $60^{gr}$ auf $4-5^{mm}$ hebt, während Valentin nach seinen an einem Federkraftmesser angestellten Versuchen sogar berichtet: »Wenn ein »Frosch seinen Hinterfufs mit sehr mäfsiger Stärke streckt, so arbeiten »die Extensoren des Unterschenkels und der Ferse mit einer Energie, »welche das Drei- bis Vierfache des gesammten Körpergewichts be»trägt. Die Wadenmuskeln allein aber sind in dem Maximum ihrer »natürlichen Anstrengung im Stande, mehr als das Dreifsigfache des »letzteren zu überwinden. 1 Grm. derselben vermag einem Gewichte »von 1500—2000, ja sogar von 2000—3000 Grm. und mehr das »Aequiliber zu halten.«[2]

[1] S. unten, Kap. IV. §. 1. 1. — Taf. I. Fig. 18.

[2] Lehrbuch der Physiologie des Menschen u. s. w. Bd. II. Braunschweig 1844. S. 179. 180.

Nicht minder auffallend ist jedoch die nun folgende Bestimmung der Zeit, während welcher diese Arbeit verrichtet werden soll. »J'ai »introduit dans le circuit de la pile une roue de MASSON, à l'aide de »laquelle je pouvais varier à volonté la durée du passage du courant. »Après un grand nombre d'essais, j'ai trouvé qu'on pouvait renouveler »le passage du courant au moment même où, la contraction ayant eu »lieu, les membres étaient revenus à la position d'où ils étaient partis »avant l'introduction du courant. J'ai trouvé que cela avait lieu dans »les temps suivants: la contraction et le passage du courant durent »pendant 0″.32, et 0″.68 sont employés par la grenouille pour revenir »à sa position. En opérant ainsi (?), la grenouille ne se contracte »jamais en ouvrant le circuit.« MATTEUCCI behauptet also, wenn ich ihn recht verstehe, erstens (eine Zeitbestimmung von astronomischer Feinheit, über deren Methode keine Sylbe verlautet), dafs die obigen hundert Zusammenziehungen alle 0″.32 gedauert haben und dafs die Muskeln 0″.68 brauchten, um wieder völlig zu erschlaffen; zweitens, dafs keine Zuckung stattfand, wenn die Feder von einem leitenden auf einen isolirenden Zahn des NEEF'schen Rades gerieth! Die letztere Angabe, der es schwer wird, Glauben zu schenken, und deren Willkürlichkeit durch das »en opérant ainsi« nur spärlich bemäntelt wird, beruht wohl auf dem dunklen Gefühl, welches diesem Forscher innewohnen mochte, dafs eigentlich seine ganze Untersuchung keinen Sinn hatte, weil eben auch Unterbrechung des Stromes, für die es kein elektrochemisches Aequivalent mehr giebt, Zuckung hervorbringt. Genug, er läfst $8.36^{gr}$, in 0″.32 auf $2.4^{mm}$ gehoben, oder [1] $0.000020064^{k.m}$ in 0″.32 als Arbeitsgröfse einer Zusammenziehung sämmtlicher Muskeln des Beingerüstes gelten, und als chemisches Aequivalent derselben die während jener 0″.32 aufgelöste Zinkmenge, zu deren Bestimmung nun geschritten wird.

Zweitausend Frösche wurden zu diesen Untersuchungen verwandt; mit ihrer tausend folgende Zahl gewonnen. Die Säule im Kreise war eine sechsgliedrige BUNSEN'sche. Hatte ein Frosch sich hundertmal zusammengezogen, so wurde er fortgeworfen und ein anderer genommen. So wurde mehrere Tage lang fortgefahren, während welcher im Ganzen 100000 Zusammenziehungen stattfanden. »Pour rendre les calculs »plus faciles,« sagt MATTEUCCI, »je multiplie tout par trois.« (?) Die Säule würde nun während $3 \times 100000 \times 0''.32 = 96000''$, $3 \times 7.5^{cc} = 22.5^{cc}$ Knallgas, entsprechend $43.20^{gr}$ Zink, entwickelt haben, und

[1] Nämlich nach PONCELET's Bezeichnungsweise. S. Industrielle Mechanik. Nach PONCELET Deutsch bearbeitet und mit Anmerkungen begleitet von ANTON HALLBAUER. Bd. I. Nürnberg 1845. S. 78.

$300000 \times 8.36^{gr} \times 2.4^{mm}$ würden also diese Zinkmenge zum Aequivalent haben, wenn nicht folgende Berichtigungen anzubringen wären.

(1) Verstärkung des Stromes über eine gewisse Grenze hinaus vergröfsert die Arbeitsmenge nicht mehr, unter einer gewissen Gröfse der Stromstärke aber soll, nach Matteucci, die nach seiner Methode gemessene Arbeitsgröfse einfach der Stromstärke proportional sein. Ich glaube dies gewissermafsen als einen Beweis ansehen zu dürfen, dafs dem nicht so ist; was auch aufserdem viel Wahrscheinlichkeit für sich hat. Matteucci bestimmte nun, indem er eine eingeschaltete Flüssigkeitsstrecke mehr und mehr verlängerte, die Stromstärke, welche nur eben das Maximum der Arbeit hervorbringt, und fand, mittelst des vergleichbaren Nobili'schen Galvanometers (S. oben S. 198), dafs sie sich zu der der sechsgliedrigen Bunsen'schen Säule wie 1 : 565 verhielt. Es ist also die obige Zinkmenge durch diese Zahl zu dividiren; macht $0.0764^{gr}$.

(2) Dies ist die Zinkmenge, welche der erwähnten Grenzstromstärke entsprechen würde, wenn der Strom durch die Nerven allein ginge. Allein er vertheilt sich auf Nerven und Becken und Matteucci behauptet in dem Verhältnifs von 1 : 11. Es ist gar kein Zweifel, dafs das Verhältnifs ein für die Nerven viel ungünstigeres ist, da sie in Nichts durch ihr Leitungsvermögen von den Muskeln und Knochen ausgezeichnet sind und das Verhältnifs der Querschnitte offenbar viel kleiner ist. $0.0764^{gr} : 11 = 0.0069^{gr}$.

(3) Diese Zahl theilt Matteucci noch durch 2, weil, wenn er die Sehnen der grofsen Unterschenkelstrecker durchschneidet, das Gewicht um das Doppelte gehoben werde. $0.003^{gr}$ würde also das Zinkäquivalent von $3 \times 100000 \times 8.36^{gr}$, in 96000″ auf $2.4^{mm}$ gehoben sein. Den Werth dieser Correction kennen wir schon; Matteucci hat nur einen verschwindenden Bruchtheil von der gesammten Leistung der Froschbeine in Anschlag gebracht, und es ist erfreulich, wenigstens in einem Punkte seiner Arbeit mit ihm übereinstimmen zu können, wenn er sagt: »quant à la quantité de zinc qui peut produire le travail donné, »toutes les erreurs introduites par l'expérience dans son évaluation »tendent à l'augmenter.«

Wenn er aber sich bescheidet: »Je répète encore une fois qu'en »donnant ces nombres, je dois les regarder comme approximatifs.... »Mon but a été de faire connaître une méthode pour trouver le rap»port entre le courant électrique et la force nerveuse que ce courant »peut exciter;« so wiederholen wir, dafs selbst in dem Fall, wo alle seine Bestimmungen so scharf wären, als sie jetzt ungenau und willkürlich erscheinen; selbst wenn er eine Methode gefunden hätte, die

gesammte Arbeitsgröfse eines GALVANI'schen Präparates ohne Fehl zu veranschlagen; selbst wenn er im Besitz einer solchen wäre, die zum Maximum der Nervenerregung nothwendige Stromstärke und das Verhältnifs des Leitungswiderstandes des Beckens und der Ischiadnerven zu einander zu bestimmen; endlich selbst wenn die Nerven wirklich Träger der Kraft wären, die bei ihrer Erregung in den Muskeln frei wird, da doch höchst wahrscheinlich ihre Wirkungsweise darin besteht, dafs sie nur den Molecularmechanismus der letzteren auslösen und von einem Aequivalent hier folglich eben so wenig die Rede sein kann, als eine Beziehung obwalten würde zwischen dem Stoffverbrauch in den Muskeln des Maschinisten, der den Dampf zuströmen läfst, und den Leistungen seiner Maschine: selbst wenn dies Alles sich so verhielte, würde dennoch MATTEUCCI's Arbeit eine verlorene sein, seine Zahlen sind nicht mehr oder weniger annähernd richtig, sondern absolut sinnlos, die Folgerungen, die er alsbald zieht, in die Luft gebaut. Er hat eine Gröfse, die dem Ausdruck

$$\int_T^{T_1} \Delta . dt$$

proportional ist, dem Ausdruck

$$\int_T^{T_1} F\left(\frac{d\Delta}{dt}\right) . dt$$

proportional genommen; er hat den Fehler begangen, den ein Physiker begehen würde, der den Zinkverbrauch in einer primären Strombahn als das Mafs der inducirten Strömung in der secundären Rolle ansehen wollte. S. am Schlusse dieses Paragraphen den Vergleich zwischen dem nervenerregenden und dem inducirenden Vorgange ihrer allgemeinen Form nach. Von hier aus versteht es sich von selbst, dafs wir uns nicht weiter bemühen werden, von den Verdiensten Kenntnifs zu nehmen, die sich der jüngere BREGUET durch Anbringung eines selbstregistrirenden Zeigers und eines elektromagnetischen Zählerwerkes um die Vervollkommnung des mechanischen Theiles von MATTEUCCI's Verfahren erworben haben mag. [1]

Ganz neuerdings hat übrigens MATTEUCCI, in einer Mittheilung, die in das oben S. 126 gegebene Verzeichnifs seiner Arbeiten noch nicht aufgenommen werden konnte, folgende wunderbare Erklärung des Umstandes bekannt gemacht, dafs nur Anfang und Ende des Stromes von einer Zuckung begleitet sei; eine Erklärung, aus der abermals aufs klarste hervorgeht, dafs er von dem hier in Rede stehenden Funda-

[1] S. Comptes rendus etc. Ibid.

mentalsatze nicht entfernterweise eine Ahnung besitzt: »... Pour don»ner de l'action physiologique du courant une théorie bien simple, ... »il n'y a ... qu'à se rappeler un fait qui a été depuis longtemps oublié »à cet égard: la décharge électrique la plus faible possible, obtenue »soit avec la bouteille de Leyde, soit avec la machine électrique, à »travers le nerf de la grenouille, produit la contraction la plus forte »possible. J'ai à ce sujet multiplié mes expériences, et j'ai trouvé que »des décharges qui n'étaient plus sensibles à aucun de nos électroscopes »produisaient des contractions très fortes, et telles qu'on les obtient »avec le courant électrique le plus énergique.« Ist dies eine Entdeckung Matteucci's? Sollte nicht Galvani dies nicht schon allgemein ausgesprochen, dies nicht Volta bereits auf das bestimmteste gewufst, nach allen möglichen Richtungen verfolgt, die Versuche darüber zu einem unerhörten Grad von Feinheit getrieben haben? Man vergleiche oben S. 51 ff.; man lese Volta's Brief an Baronio, seine *Memoria prima* und *seconda sull' Elettricità animale;* sie handeln vorzugsweise von diesem Gegenstande! Wie dem auch sei, Matteucci fährt fort: »Or, si l'on se rappelle qu'un phénomène analogue à la décharge »électrique de la bouteille a toujours lieu soit au moment qu'on ferme »le circuit, soit quand on l'ouvre, et que c'est justement dans ces »mêmes instants que les contractions sont éveillées par le courant »électrique, on concevra sans peine comment on peut s'expliquer l'action »physiologique du courant.« Der galvanische Strom selbst thue dabei nichts als dafs er die Erregbarkeit der Nerven auf eine bestimmte Weise verändere, deren Entdeckung Matteucci jedoch ebensowenig angehört.[1] Die schwierige Frage, welcher Zusammenhang denn nun zwischen dem elektrochemischen Aequivalente dieses Stromes und der Arbeitsmenge des Muskels stattfinde, wenn der Strom selbst ganz und gar nichts mit der erregten Zuckung zu schaffen hat; dieses Räthsel überläfst Matteucci dem Leser zu lösen, da er jener Bestimmungen hier mit keiner Sylbe gedenkt, und ich überlasse es Letzterem daher auch, nunmehr das Urtheil über diese Arbeiten selber auszusprechen.[2]

[1] S. unten, §. III. 2 (VI). B. a. Ritter's, Treviranus, Pfaff's und Anderer Arbeiten darüber.

[2] Comptes rendus etc. 17 Août 1846. t. XXIII. p. 360.* — Ein Auszug aus der vierten und fünften Reihe von Matteucci's elektrophysiologischen Untersuchungen, »qui feront suite aux trois premières dans les Philosophical Transactions.«

## 4. Von einigen näheren Bestimmungen, denen das Gesetz der Nervenerregung durch den Strom ferner unterliegt.

### (1) Von der Erregung der Sinnesnerven durch den elektrischen Strom.

Vor allen Dingen mufs nun bemerkt werden, dafs das ausgesprochene Gesetz in aller Strenge nur für die Bewegungsnerven gilt. Was die Empfindungsnerven betrifft, so sind sie sämmtlich, so weit sie sich überhaupt dem elektrischen Strome unterthan zeigen, neben der auf Schwankungen der Dichtigkeitscurve in beiderlei Sinne auftretenden Wirkung auch einer Reaction auf die Fortdauer der Strömung in beständiger Gröfse fähig. Ich will hier nur, aus dem unendlichen Material an Erfahrungen aus den ersten Jahrzehenden nach Galvani's und Volta's Entdeckungen, einige der schlagendsten Zeugnisse in diesem Sinne hervorheben, deren Wahrhaftigkeit es übrigens leicht ist, tagtäglich an sich selbst von Neuem zu bestätigen.

Bereits Volta beschreibt in seinem Brief an Banks vom 20. März 1800 das unerträgliche dauernde Gefühl, welches an zarteren Hautstellen kurze Zeit nach der Schliefsung einer kräftigen Säule entsteht und in fortwährendem Wachsen begriffen ist.[1] Beim Schliefsen einer hundert- oder mehrgliedrigen Zinksilbersäule empfand er während der ganzen Dauer des Stromes: »in tutte o in alcune delle parti che esso »attraversa un certo fremito o stupore, un senso di costrizione più o »meno molesto, che riesce fino insopportabile, oltre il dolor vivo pun»gente nelle parti delicate, cui si applichi in pochi punti il condut»tore.«[2] Hier folgen Ritter's minder zuverlässige Aussagen über ein stetiges Gefühl von Contraction, Kälte, Steifheit und Lähmung auf der Silber-, von Expansion, Wärme, erhöhter Beweglichkeit und Stärkung auf der Zinkseite der Batterie,[3] zwischen welchen ruhigere Beobachter, z. B. Pfaff, allerdings mehr Aehnlichkeit als Verschiedenheit zu entdecken vermochten.[4] Vergl. den folgenden Paragraphen, 2 (v). A. e.

Sehr bekannt ist sodann der heftig stechend brennende Schmerz, den man an verwundeten Hautstellen sogar im Kreise der einfachen Kette verspürt. Einer der ersten dürfte ihn wohl Robison empfunden haben

[1] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. II. p. 118.* — Auch in »Memoria sull' Identità ec.« Parte seconda, ivi, p. 219.*

[2] Memoria sull' Identità ec., ivi, p. 221. Nota.*

[3] Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VII. S. 458.* — Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 2. 1802. S. 43 ff. St. 3. 4. 1805. S. 162.*

[4] Gehler's physikalisches Wörterbuch. Bd. IV. Abth. II. 1828. S. 935.*

(Mai 1793).[1] v. Humboldt, der ihn im gröfsten Mafsstabe bei seinen heroïschen Versuchen an Blasenpflasterwunden beobachtete, die er sich auf den Schultern hatte anlegen lassen, schlofs daraus auf die Fortdauer des Vorganges in der Kette über den Augenblick der Schliefsung hinaus.[2] Dafs die Säule die nämliche Erscheinung noch deutlicher und allgemeiner zu zeigen im Stande sein werde, liefs sich erwarten und wurde auch gleich von Volta wahrgenommen (Brief an Banks, ivi, p. 120*). Im Kreise einer Vorrichtung von nur zwanzig Lagen war der Schmerz bereits so unerträglich, dafs Volta nicht länger als einige Secunden darin ausdauern konnte.

Ebenso anhaltend ist, wie Jedermann weifs, der elektrische Geschmack beim Schliefsen auch nur der einfachen Kette durch die Zunge; nach Einigen wächst er noch während der ersten Augenblicke nach der Schliefsung.[3]

Was den Gesichtssinn betrifft, so scheint Volta selbst immer nur den Schliefsungs- und Oeffnungsblitz gesehen zu haben (Brief an Banks, ivi, p. 124*); dagegen hatte schon Ritter mittelst der einfachen Kette dauernde Lichtwirkungen beobachtet,[4] und die Säule bot ihm eine Fülle darauf bezüglicher Wahrnehmungen dar.[5] Diese Behauptungen sind in dem, was uns hier angeht, von mehreren Seiten her, von Reinhold, Pfaff, Most, unter Andern aber auch von Purkinje bestätigt und daher wohl aufser Zweifel.[6] Wir werden später darauf zurückzukommen Gelegenheit haben.[7]

Das während der ganzen Dauer des Stromes bemerkbare Geräusch, wenn eine Säule von 30 bis 40 Gold- oder Silberzinkplattenpaaren mittelst Sonden durch die Ohren geschlossen wurde, vergleicht Volta

[1] Al. Monro's und Rich. Fowler's Abhandlung über thierische Elektricität und ihren Einfluss auf das Nervensystem. 1796. S. 177.*

[2] Gren's Neues Journal der Physik. 1795. Bd. II. S. 119;* — 1796. Bd. III. S. 166. 170. 173.* — Michaelis ebendas., 1797. Bd. IV. S. 21.* — v. Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. 1797. Bd. I. S. 101. 197. 321. 323.*

[3] Volta in der Seconda Memoria sull' Elettricità animale. Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. p. 116. §. 94.* — Kielmeyer in Gren's Journal der Physik. 1794. Bd. VIII. S. 67.* — Pfaff leugnet es ebendas., S. 236, stimmt jedoch Volta bei in seiner Schrift über thierische Elektricität und Reizbarkeit. 1795. S. 135.*

[4] Beweis, dafs ein beständiger Galvanismus u. s. w. S. 88.*

[5] Gilbert's Annalen 1801. Bd. VII. S. 448.* — Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. S. 159.*

[6] Vergl., wie über alle diese Erfahrungen, die Zusammenstellung in Fechner's Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie. Kap. XXXIX. Galvanismus in Bezug auf Physiologie. S. 485 ff.*

[7] S. den folgenden Paragraphen, 2 (v). A. d.

dem Prasseln eines zähen im Aufkochen begriffenen Breies (Ivi, p. 127 *) Ritter gelang es später, einen bestimmten Ton herauszuhören, und; seine Höhe unter verschiedenen Umständen festzustellen. Andererseits läugnet zwar Paul Erman die Möglichkeit einer solchen Bestimmung, ja läfst es zweifelhaft, inwiefern es sich hier überhaupt um elektrische Erregung des Gehörnerven selbst handle; nichtsdestoweniger bekräftigt er vollkommen die Stetigkeit der Wahrnehmung, welche er unter dem Bilde im Gehörgange rollender Kugeln anschaulich zu machen sucht. [1] Vergl. auch Grapengiesser, [1] der die elektrisch-subjective Natur des Geräusches schon viel früher gegen eine andere Art der Verdächtigung verfocht, und gleichfalls dasselbe als andauernd schildert. [2]

Nach Ritter und den übrigen Wenigen, welche Geruchsempfindung als Wirkung des Stromes wahrgenommen haben wollen, würde auch dieser elektrische Sinneseindruck ununterbrochener Art sein. [3]

Man sieht, es ist angegebenermafsen durchweg die Fähigkeit zur Wahrnehmung des Stromes in beständiger Gröfse vorhanden, und diese Wahrnehmung ist um so deutlicher, je gröfser die Dichtigkeit des Stromes in den Nerven ist. Nichtsdestoweniger findet in den Fällen, wo sich dies ausmachen läfst, einen einzigen ausgenommen, eine Steigerung zu Anfang und zu Ende des Stromdurchganges statt und beweist, dafs doch auch hier das hingestellte Gesetz, wenngleich minder unbedingte Geltung hat.

Was das Gefühl betrifft, so sind die Versuche mit starken Strömen, die bei unverletzter Haut förmliche Schläge ertheilen, d. h. neben der möglicherweise stattfindenden Erregung von Gefühlsnerven schmerzhafte Muskelzusammenziehung bewirken, weniger geeignet, Aufschlufs über den fraglichen Umstand zu verschaffen, da es nicht möglich ist, in der Erschütterung den Antheil des Schmerzes, der auf Rechnung der Muskeln kommt, von dem zu unterscheiden, der von dem unmit-

[1] Gilbert's Annalen. 1812. Bd. XL. S. 27. * — Vergl. unten, 3. Abschn. Kap. IX.

[2] Versuch, den Galvanismus zur Heilung einiger Krankheiten anzuwenden. Berlin 1801. S. 50. *

[3] Beweis, dafs ein beständiger Galvanismus u. s. w. S. 95 ff. * — Gilbert's Annalen. 1801. Bd. VII. S. 460. * — Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. S. 161. * — S. Cavallo's vollständige Abhandlung der theoretischen und praktischen Elektricität u. s. w. Aus dem Englischen. 1797. Bd. II. S. 287. Anm. * (Ein Ungenannter im Monthly review for January 1797, und der Uebersetzer Cavallo's, J. M. W. Baumann.) — Fowler, v. Humboldt, Volta selbst und Grapengiesser haben nichts der Art wahrnehmen können. Fowler a. a. O. S. 116. * — v. Humboldt, Versuche u. s. w. Bd. I. S. 321. * — Volta, Brief an Banks, ivi, p. 127. * — Grapengiesser a. a. O. S. 52. *

telbaren Ergriffensein der Gefühlsnerven herrührt. Dasselbe gilt wohl von dem Gehör, wo das Hereinbrechen des Stromes von einer starken Erschütterung des Kopfes begleitet zu sein pflegt. Man mufs daher entweder zu solchen Stromstärken zurückgehen, bei denen keine Zukkungen mehr verspürt werden, oder die Beobachtung auf Empfindungen von solcher Eigenthümlichkeit richten, dafs die Wahrnehmung derselben durch keine anderen, noch so heftigen, im Augenblick der Schliefsung und Trennung übertäubt werden kann. Das Erstere erreicht man, wenn man eine Säule von nur 15 — 20 Plattenpaaren mittelst der benetzten unverletzten Finger schliefst. Man empfindet einen Schmerz in denselben, der, bekanntlich und räthselhafterweise in den Gelenken am merklichten ist; [1] über die Finger hinaus, und über den Augenblick der Schliefsung hinaus verspürt man nichts. Da in den Fingern keine Muskeln enthalten sind, so ist diese Erfahrung, die man übrigens, bei einiger Aufmerksamkeit, auch dann machen kann, wenn bereits Zuckung stattfindet, wohl völlig unzweideutig. Die zweite Bedingung wird, bei beliebiger Stärke der Vorrichtung verwirklicht, wenn man entweder beim Schliefsen eine Hautwunde mitbringt oder das Auge

[1] Um diese Erscheinung zu erklären, müfste man das Leitungsvermögen der Knorpel im Verhältnifse zu den übrigen Geweben untersuchen. Es ist nicht unwahrscheinlich, dafs man es sehr gering finden würde, und alsdann hätte dieselbe nichts auffallendes mehr. Denn da in jedem Gelenke die Strombahn bis auf die Haut, die Sehnen und die Bänder, durch eine Doppelplatte aus Knorpel versperrt ist, so mufs alsdann hier die Dichtigkeit in der ersteren sehr viel bedeutender ausfallen, als in der Gegend der Muskelbäuche, wo der Strom sich über den Querschnitt der Muskeln, und die Markhöhle der Knochen (die Knochen selbst, gleich den Knorpeln, als schlechte Leiter angesehen) ausbreiten kann, in die er durch die schwammigen Gelenkköpfe eindringen würde. Valentin sagt darüber: »Tritt der Strom »durch einen Körpertheil hindurch und läuft nicht blofs längs der Oberfläche hin, »so wird er wahrscheinlich von den Knochen, als den dichtesten Theilen des Kör»pers, am meisten angezogen« ... (S. oben S. 150) ... »Geht aber ein grofses »Quantum Elektricität durch dieselben hindurch, so mufs in den Gelenken, wo sich »minder anziehende Theile befinden, ein Ueberspringen nach den benachbarten Kno»chen, ein Fortgang durch eine Schlagweite stattfinden, oder es mufs die ganze, »sich sonst auf Knochen und Weichgebilde vertheilende Elektricität durch die wei»chen Gelenktheile, deren Feuchtigkeit und deren Umgebungen überspringen. Daher »wahrscheinlich der Schlag: daher dieser letztere auch um so stärker wird, je wei»ter die Knochen von einander abstehen; daher er heftiger am Ellenbogen-, als am »Handwurzelgelenke, und am Kniegelenke am stärksten ist.« R. Wagner's Handwörterbuch u. s. w. Bd. I. S. 530.* Ich habe diese Stelle wörtlich angeführt, weil sie möglicherweise ein Anrecht Valentin's an die oben von mir gegebene Deutung begründen könnte. Man sieht aber, dafs dieser Anatom in dem Wahne lebt, dafs die Knochen in den Scharniergelenken im natürlichen Zustand von einander abstehen, und dafs die Synovialkapseln mit Luft gefüllt sind.

in den Kreis aufnimmt. Der stechend brennende Schmerz in dem ersteren Falle erhebt seine Stimme auch über die heftigsten Erschütterungen fort, und man nimmt deutlich die Steigerung desselben wahr. [1] Was das Auge betrifft, so haben wir bereits gesehen, dafs hier weit eher über die stetige Lichtempfindung während des Geschlossenseins, als über den Schein zu Anfang und zu Ende des Stromes ein Zweifel obwalten könnte. Nur der Geschmack entzieht sich also, wenigstens den allgemein zugänglichen Wahrnehmungen nach, [2] unserem den Bewegungserscheinungen entnommenen Gesetze; von dem Geruche zu schweigen, dessen Empfänglichkeit für den elektrischen Reiz überhaupt wohl noch zu sehr dahin steht, um ihn hier mit zu berücksichtigen.

[1] S. Fechner a. a. O. S. 471 Anm. 3.*

[2] Lehot und Ritter nämlich wollen auch hier besondere Oeffnungserscheinungen wahrgenommen haben. S. unten, §. III. 2 (v) A. a. Das Fehlen derselben, und entsprechender beim Schliefsen, würde übrigens der einzige Grund sein, der jetzt noch für die Erklärung des elektrischen Geschmacks aus den sich an den Metallen ansammelnden Zersetzungsstoffen aufgebracht werden könnte: denn bei dem heutigen Stande der Nervenphysik ist gar nichts damit gewonnen, für die Zungennerven eine Thatsache abzuleugnen, die doch für die meisten anderen Nerven zugegeben werden mufs und auch sonst im Einklang mit dem ganzen Gebäude derselben steht. Pfaff hat gegen jene Erklärung den Versuch von Volta angeführt, in dem man mit feuchter Hand einen zinnernen Becher mit alkalischer Flüssigkeit zum Munde führt, und beim Berühren derselben mit der Zungenspitze sauer schmeckt (Volta in seinem ersten Brief an Gren. Collezione dell' Opere ec. t. II. p. II. p. 5.* — Pfaff in Gehlers physikalischem Wörterbuche a. a. O. 735. 736.*) Ich füge noch zwei Erfahrungen, die eine von Monro, die andere von Volta, hinzu, welche nur sehr gezwungen, mit Hülfe eines besonderen, später zu erwähnenden Umstands (S. den folgenden Paragraphen, 2. (vi) B. a. $\gamma$.), mit der elektrolytischen Theorie des Zungenversuchs in Einklang gebracht werden könnten. Monro sagt: »Auch »habe ich gefunden, dafs zwei dicke Stücken von rohem oder gekochtem Fleisch, »das eine zwischen dem Zink und der Zunge, und das andere zwischen dem Silber »und der Zunge, die unangenehme stechende Empfindung nicht hindern, wenn die »beiden Metalle sich berühren.« (Al. Monro's und Rich. Fowler's Abhandlung u. s. w. S. 25.*) Auffallend ist allerdings, dafs Monro, auch an anderen Stellen, den Geschmack immer nur als »eine stechende unangenehme Empfindung« schildert (S. 23. 24), »welche schwer zu beschreiben ist« (S. 23); dafs er es aber überall, auch bei der unmittelbaren Berührung der Zunge mit den Metallen in der gewöhnlichen Weise thut, beweist wenigstens, dafs es sich auch in jenem Falle wirklich um das handelte, was man als elektrischen Geschmack zu bezeichnen pflegt. Volta's Versuch steht in seinem ersten Briefe an Vassalli (Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. p. 198. 199*). In demselben wird eine Kette von Personen gebildet, von denen die erste Zink, die letzte Silber in der nassen Hand hält. Innerhalb der Kette ist zwischen zweien Gliedern derselben die Verbindung so hergestellt, dafs die eine Person die Zunge der vom Zink aus nächstfolgenden mit der Fingerspitze berührt. Im Augenblicke der Schliefsung verspürt diese den sauren Geschmack, während ein aufserdem darin begriffener stromprüfender Froschschenkel in die hef-

Man ist demnach unstreitig berechtigt zu sagen, dafs auch die Erregung der Sinnesnerven durch den elektrischen Strom Function der Steilheit seiner Dichtigkeitscurve sei. Wollte man jedoch die Gröfse der Erregung in jedem Augenblicke wie oben durch ein mathematisches Zeichen ausdrücken, so müfste man noch zu der rechten Seite von (I) eine unbekannte, mit der Veränderlichen wachsende Function von $\Delta$ hinzuaddiren,

$$\varepsilon = F\left(\frac{d\Delta}{dt}\right) + \Phi_{(\Delta)} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(IV)}$$

wo $\Phi_{(\Delta)}$ die Gröfse der Reaction auf den beständigen Strömungsvorgang ausdrückt, und also die Richtigkeit des Ausdrucks auch dann noch aufrecht erhält, wenn der Differentialquotient verschwindet. Bemerkt zu werden verdient aber, dafs eine jede derartige Darstellung für die Gesammterregung der Empfindungsnerven ihren Sinn gänzlich einbüfst. Empfindungen lassen sich nicht summiren, und »das Gefühl »erhält,« wie Dove treffend bemerkt, »in der verminderten Dauer einer »schmerzhaften Empfindung keine Compensation für ihre gröfsere Stärke.« [1] Die gröfsere Steilheit einer Strecke der Dichtigkeitscurve, die gröfsere absolute Höhe ihrer Ordinaten, kann nie durch die geringere Neigung einer andern Strecke, durch die geringere Höhe der Ordinaten dieser wieder gut gemacht werden, wie ein solches Aufheben für die Bewegungserscheinungen, und, was blofs die Höhe der Ordinaten betrifft, für die Multiplicatornadel, die chemische Zersetzung, stattfinden kann. Nur congruente Curvenstücke, welche gleiche absolute Höhe ihrer Ordinaten, und auf dasselbe Coordinatensystem bezogen haben, sind im Stande, identische Empfindungen hervorzubringen.

Hier ist der Ort, und wir sind jetzt in Stand gesetzt, uns rücksichtlich einer Willkür zu rechtfertigen, die wir uns bis hieher stillschweigend erlaubt haben. So lange nämlich nicht nachgewiesen war,

tigsten Zuckungen geräth. — In den ersten Zeiten des Galvanismus, als die Fortdauer des Stromes bei geschlossener Kette, weil man noch über kein anderes stromprüfendes Mittel gebot, als das physiologische Rheoskop, noch ein Gegenstand des Streites und Zweifelns war, konnte die Ununterbrochenheit des elektrischen Geschmacks auf Rechnung der hohen Beweglichkeit der Zunge gebracht werden, »die,« wie Lichtenberg sagte, »bekanntlich im physischen Sinn oft eben so unbändig ist, »als im moralischen.« (Gren's Journal der Physik. 1792. Bd. VI. S. 415.*) Diese Deutung, zu deren Widerlegung schon v. Humboldt (Versuche u. s. w. Bd. I. S. 197*) seine Versuche über die Wirkung des Metallreizes auf Blasenpflasterwunden anstellte, fällt jetzt fort, da wir nicht nur auf anderem Wege wissen, dafs der Strom fortdauernd zugegen ist, sondern auch die übrigen Sinnesnerven die Gegenwart desselben dauernd angeben.

[1] Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität. S. 10.*

dafs die Nerven an und für sich auf blofse Schwankungen der Dichtigkeitscurve antworten, mufste es zweifelhaft erscheinen, ob sie es seien, welche in dieser Weise reagiren, oder ob sie vielleicht durch den Strömungsvorgang dauernd verändert werden, die Muskeln selbst aber nur Anfang und Ende dieser Veränderung durch Zuckung angeben. Jetzt ist es klar, dafs die erstere Deutungsweise, wie im Obigen angenommen wurde, die richtige ist; die Gesetze des Organismus verstatten nicht, für die eine Gattung der Nerven die eine, für die andere die andere Art der Reaction ausschliefsend in Anspruch zu nehmen. Es wird uns in der Folge glücken, die dauernde Veränderung der Sinnesnerven durch den elektrischen Strom durch eine Veränderung ihrer elektrischen Zustände objectiv wahrnehmbar zu machen; allein jenen Gesetzen gemäfs, wird es sich alsdann zugleich zeigen, dafs auch die Bewegungsnerven eine ähnliche anhaltende Einwirkung erfahren. Aufserdem aber findet sich, dafs eine besondere Veränderung der elektrischen Zustände jedesmal den Anfang und das Ende der dauernden Veränderung bezeichnet. Diese werden wir, mit einigem Rechte, als das äufsere Anzeichen der Fortpflanzung des sogenannten Nervenprincips ansehen dürfen; und sie ist es, von der ich glaube, dafs ihre Gröfse eine mit dem Argumente wachsende Function des Differentialquotienten der Dichtigkeitscurve ist. [1]

Jetzt ist ferner deutlich, weshalb oben S. 276 den subjectiven Versuchen, in denen eine gegebene Elektricitätsmenge in immer kürzerer Zeit abgeglichen immer stärkere Wirkungen erzeugt, also die Abscisse $t$ gefühlt wird, eine unbedingte Geltung in dem Sinne des aufgestellten Gesetzes, mit dem sie doch so schön zu stimmen schienen, abgesprochen werden mufste. Es ist nämlich zu bedenken, dafs, wegen der mit ins Spiel kommenden Reaction der Empfindungsnerven auf den Strom in beständiger Gröfse, die Schläge nicht allein deshalb stärker werden, weil das Integral $\eta$ wächst, sondern auch deshalb, weil die absolute Höhe der Ordinaten zunimmt.

Wahrscheinlich wird in diesen beiden Umständen zusammen auch der Grund des Verhaltens liegen, von dem ich mich neuerdings, abermals durch die Güte des Herrn Dr. Riess, überzeugt habe, dafs eine Elektricitätsmenge $nq$, auf eine Oberfläche $ns$ vertheilt, stärker schlägt, als die Menge $q$ auf der Oberfläche $s$. [2] Es wurden 1; 2; 3 Flaschen

[1] S. unten, 3. Abschn., Kap. VII; — 4. Abschn.

[2] Singer berichtet irrthümlicher Weise, ohne eine Quelle oder das Einzelne eigener Erfahrungen anzuführen, dafs bei diesem Versuche die Wirkung unverändert bleibe. Elemente der Elektricität und Elektrochemie übersetzt von Müller. Breslau 1819. S. 259.

der Batterie[1] beziehlich mit 1; 2; 3 Funken der Lane'schen Mafsflasche geladen. Der Schlag des einen Funkens in der einen Flasche wurde nur im Handgelenk, der Schlag der drei Funken in den drei Flaschen bis in das Ellenbogengelenk empfunden.

Cavendish hat bereits Versuche, welche auf dasselbe hinauslaufen, in seiner trefflichen Arbeit über den Zitterrochen. Er fand z. B. dafs eine bis zu einem gewissen Grade geladene Flasche schwächer schlug, als vier nur halb so stark geladene Flaschen, welche also die doppelte Elektricitätsmenge enthielten und schlofs damals daraus, dafs die Stärke des Schlages mehr (rather more) von der Menge elektrischer Flüssigkeit abhänge, welche unseren Körper durchdringe, als von der Kraft, womit dieselbe hindurch getrieben werde[2] (dem Verhältnifs $q : s$).

Auch Volta hat sich mit hiehergehörigen Bestimmungen abgegeben. Er suchte festzustellen, welche die kleinstmögliche Ladung von belegtem Glase sei, durch die dem kleinen Finger, den er in Wasser getaucht hielt, bei einer die Entladung am besten leitenden Verbindung der kleinstmögliche noch merkbare Schlag ertheilt werde. Zu dem Ende belegte er Gläser von gleicher, $\frac{1}{2}'''$ betragender Dicke, d. h. gleicher Capacität, mit 1; 2; 4; 8; 16 Quadratzoll Stanniol, lud sie auf einen bestimmten Grad, der an seinem feineren Strohhalmelektrometer gemessen wurde, setzte die eine Fläche mit dem Wasser durch einen Metallstreifen in Verbindung, und berührte, um den Schlag zu nehmen, die andere mittelst eines gleichen Streifens, den er in der wohlbenetzten andern Hand hielt. Die Dichtigkeiten, die er der Elektricität auf der obigen Reihe von Belegen ertheilen mufste, um noch Etwas im kleinen Finger wahrzunehmen, verhielten sich wie 45°; 25°; 14°; 8°; 4°.5 seines Elektrometers. Eine Flasche von 64 Quadratzoll bedurfte nur $1\frac{1}{2}$°: 4; 8; 16 Flaschen nur $\frac{1}{2}$°; $\frac{1}{4}$°; $\frac{1}{8}$°. »Nur »wenn man die Batterieen sehr vergröfsert,« sagt Volta, »scheint eine »stärkere Ladung, als nach dem angegebenen Verhältnisse, nöthig zu »werden, und ich vermuthe selbst, dafs, wenn man bis auf 1000 oder »2000 Quadratfufs Belegung stiege, man das Maximum von Gröfse er»reicht haben würde, d. h., dafs bei einer gegebenen sehr kleinen Span»nung gröfsere Batterieen als diese keine stärkeren Schläge geben wür»den, ja dafs bei Spannungen von $\frac{1}{100}$°; $\frac{1}{80}$°; $\frac{1}{60}$° (welche, der »obigen Progression nach, in Batterieen von dieser Gröfse noch ganz »merkbare Schläge geben müfsten,) der Schlag nicht mehr wahrnehm-

[1] Sie findet sich beschrieben in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1845. Bd. LXV. S. 486.«

[2] Philosophical Transactions etc. For the Year 1776. vol. LXVI. p. I. p. 200 bis 203.«

»bar sein möchte.« [1] Aufserdem macht Volta aber auf den qualitativen Unterschied aufmerksam, der zwischen dem Schlage einer hoch geladenen kleinen und einer nur schwach gespannten grofsen Oberfläche stattfindet, einen Unterschied, der »bei mächtigen und ausgedehnten »Schlägen (secousses puissantes et étendues), ziemlich merklich ist, »indem die Schläge einer Flasche von wenigen Quadratzollen Belegung »lebhafter, aber minder voll (moins largement) afficiren, und auf ge»wisse Weise schärfer und vibrirend, aber minder ausgedehnt sind, »indefs die Schläge einer grofsen Flasche oder einer Batterie schwerer »und tiefer sind (plus graves et plus profondes);« er vergleicht die letzteren abermals mit dem Schlage der von ihm entdeckten Säule.

In der That hatte er schon früher, in der »*Memoria sull' Iden»tità etc.,*« als es sich darum handelte, die grofse physiologische Wirkung der Säule trotz ihrer geringen Spannung zu erklären, auf diese Aehnlichkeit hingewiesen. Er glaubt es sei falsch, sich die Entladung in jenem Falle ebenso augenblicklich vorzustellen, als in dem der kleineren Belegung, und hierauf beruhe, wie an der Säule, ihre gröfsere Stärke. »Dies hängt am letzten Ende von der Natur und Anordnung »unserer Organe ab,« sagt er, [2] »welche, um durch irgend ein Agens »merklich erregt zu werden, seiner Wirkung eine gewisse Zeit hin»durch unterworfen sein müssen, und zwar eine kürzere oder längere »Zeit, nach der Natur des Agens und dem Grade seiner Wirksamkeit, »und ferner nach der besonderen Erregbarkeit eines jeden Organs. So »kommt es, dafs man von der flüchtigen und augenblicklichen Berüh»rung eines heifsen Eisens keine Spur eines Eindrucks erfährt, welches »einem die Finger verbrennt, wenn sie einige Augenblicke dauert. [3] »..... Es ist ganz gewifs, dafs die Eindrücke, die unseren Organen »widerfuhren, nicht augenblicklich erlöschen, sondern einige Zeit anhal»ten. Wenn demnach die ersten Eindrücke noch fortdauern, und es »kommen andere hinzu, so häufen sich, so zu sagen, alle diese Ein»drücke, und es entsteht ein um so lebhafterer und stärkerer Eindruck.«

[1] Gilbert's Annalen der Physik. 1803. Bd. XIV. S. 257.*

[2] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. II. p. 212—214.* — Hier finden sich auch bereits einige vorläufige Versuche der oben beschriebenen Art über die kleinste am kleinen Finger wahrnehmbare Ladung verschiedener Oberflächen: S. p. 199 Nota.*

[3] Hier verwechselt Volta unstreitig ein Phänomen der Leitung mit einem der sensiblen Reaction. Der bezeichnete Umstand wächst und fällt in der That mit den vorhandenen Bedingungen der Wärmeleitung. Eine berufste Metallfläche oder eine Kohle sind viel ungefährlicher anzufassen als reine Metallflächen gleicher Temperatur, wegen der verzögerten Schnelligkeit des Wärmeersatzes nach der berührten erkalteten Stelle hin.

Ich glaube, dafs Volta hier in einer Täuschung befangen ist. Von der verlängerten Dauer der Wirkung, die an und für sich freilich nicht zu bezweifeln ist, kann die gröfsere Stärke des Schlages, den eine gröfsere Elektricitätsmenge bei gleicher, ja sogar bis zu einer gewissen Grenze bei geringerer Dichtigkeit ($q : s$) ertheilt, nicht herrühren. Denn es ist nicht einzusehen, weshalb alsdann nicht der Schmerz bei $n$ Flaschen und $n$ Funken auf dieselbe Stelle beschränkt, nur nachhaltiger gefühlt werden sollte, wie bei einer Flasche und einem Funken, nämlich im Handgelenk; in Wirklichkeit aber nimmt er hier zu, und rückt aufserdem höher, bis zum Ellenbogengelenk hinauf. Dann läfst auch Volta's Deutungsweise den anderen, oben S. 270. 271 beobachteten Fall ganz unerklärt, wo dieselbe Elektricitätsmenge $q$, auf ein kleineres $s$ vertheilt, stärker schlägt als von einem gröfseren aus. Hier ist die Zeit der Einwirkung geringer, und doch ist sie noch lang genug, um bei abnehmendem $s$ immer kräftigere Schläge zu verstatten.

Daraus, dafs der Schmerz bei Anwendung gröfserer Elektricitätsmengen von gleicher ja geringerer Dichtigkeit höher hinaufsteigt, glaube ich vielmehr schliefsen zu dürfen, dafs dabei die absolute Höhe der Ordinaten der Curve, welche sie auch sei, in der die Abgleichung geschieht, zugenommen hat. Dafs gleichzeitig das Integral $\eta$ wächst, wodurch die Stärke der schmerzhaften Zusammenziehung bedingt wird, ergiebt sich aus einigen älteren Bestimmungen Volta's, die er in den ersten Zeiten des Galvanismus nebenher gewann, als es sich darum handelte, die Gröfse der elektrischen Wirkung zu ermitteln, welche ein Froschpräparat noch in Zuckungen zu setzen vermag. Um einen enthaupteten Frosch, dem eine Nadel in die Rückenmarkshöhle gestofsen war, zum Zucken zu bringen, reichte eine Stunde lang nach der Zurichtung z. B. eine auf 5 — 6° seines Mikroëlektrometers geladene ganz kleine Kleist'sche Flasche von nur 3 Quadratzoll Belegung aus; eine Flasche von 12 Quadratzoll dagegen bedurfte nur 2 — 3°.[1]

Die Vermuthung liegt übrigens nahe, dafs die von Volta in der oben angeführten Stelle bezeichneten Eigenthümlichkeiten, wodurch sich die Schläge hoch geladener kleiner und schwach gespannter grofser Oberflächen für's Gefühl von einander unterscheiden, auf dem verschiedenen Verhältnifs beruhen, in welchem in beiden Fällen auf der einen Seite die Empfindungsnerven unmittelbar ergriffen werden, auf der anderen die Muskeln sich, entsprechend der Gröfse des Integrals $\eta$, zusammenziehen.

[1] Memoria seconda sull' Elettricità animale. Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. p. 76. §. 37. 38.

Hieher gehört schlieſslich eine nicht uninteressante Messung Pouillet's, welcher fand, daſs sich die Stärke der schwächsten mittelst der unverletzten Rände noch wahrnehmbaren galvanischen Ströme zu der der stärksten irgend erträglichen wie 1 : 18 oder höchstens 1 : 20 verhalte.[1] Wie die Verbindung hergestellt war, ist nicht deutlich gesagt. Es versteht sich beiläufig von selbst, daſs eine solche Bestimmung nur eine individuelle Geltung haben kann, da es bekanntlich Menschen giebt, die Schläge bis in das Ellenbogengelenk empfinden, und aufs heftigste von denselben ergriffen werden, die andere ohne groſse Unbequemlichkeit erst im Handgelenk verspüren.

### (u) Von dem Einflusse der absoluten Dichtigkeit auf die Erregung der Nerven durch den Strom.

Eine äuſserst wichtige Frage, zu deren Lösung es leider noch an jedem Anhaltspunkt gebricht, ist die nach dem Einflusse der absoluten Gröſse der Ordinaten, zwischen denen eine Schwankung vor sich geht, auf die Gröſse der durch diese Schwankung bewirkten Gesammterrregung der Bewegungs- sowohl, als der Empfindungsnerven; dem Einflusse also der Constanten $C$, wenn man setzt

$$\Delta = f_{(t)} + C.$$

Man unterscheide wohl zwischen der durch das Wachsen von $C$ bewirkten Steigerung der Reaction der Sinnesnerven auf den Strom in beständiger Gröſse; es handelt sich hier um diejenige Erregung, welche Anfang und Ende des Stromes, Schwankungen seiner Dichtigkeitscurve in den Nerven in beliebigem Sinne begleitet. Es fragt sich mit einem Worte: Ist zu setzen

$$d\eta = F\left(\Delta, \frac{d\Delta}{dt}\right) dt \ldots\ldots (\mathrm{v})$$

und, falls dies ist, wächst Function $F$, bei beständigem $\frac{d\Delta}{dt}$, mit $\Delta$ oder nimmt sie ab?

Man kann, von vorn herein, bis zu einem gewissen Grade die Behauptung wahrscheinlich machen, daſs das letztere stattfinde, daſs also die Erregung um so kleiner ausfalle, je beträchtlicher bereits die im Nervenquerschnitt bestehende Dichtigkeit sei. Ich werde nämlich, wie schon oben angekündigt wurde, zeigen, daſs die beständige Einwirkung des Stromes auf den Nerven eine ebenso beständige Veränderung seiner elektrischen Zustände herbeiführt, die um so gröſser ist, je gröſser die Dichtigkeit des Stromes ist, jedoch mit groſser Schnelle dem natürlichen Zustande Platz macht, so wie der Strom unterbrochen

[1] Comptes rendus etc. 22. Mai 1837. t. IV. p. 791.

wird. Es wird alsdann mit groſser Wahrscheinlichkeit hervorgehen, daſs es der Uebergang des Nerven in diesen veränderten Zustand und umgekehrt das Zurücktreten aus demselben in den natürlichen ist, von dem jene andere den Eintritt und das Ende des Stromes, wie auch die Schwankungen seiner sonst beständigen Gröſse, begleitende, unten gleichfalls nachzuweisende besondere Veränderung des Nerven abhängt, die als das äuſsere Anzeichen der Fortpflanzung des sogenannten Nervenprincips, als die Vermittlerin also des Theiles. der physiologischen Wirkungen der von den Stromesschwankungen herrührt, angesprochen werden wird. Nun scheint es natürlich, anzunehmen, daſs, je weiter diese Veränderung des Nerven bereits gediehen ist, aus der er mit so groſser Elasticität nach dem gewöhnlichen Zustand zurückstrebt, um so gröſsere Veränderungen der Stromdichte nothwendig werden, um das Gleichgewicht noch mehr zu verrücken. Freilich wäre es auch denkbar, daſs, bei der gröſseren Spannung, unter welcher jetzt die kleinere Veränderung vor sich geht, diese mit gleicher, oder gröſserer Kraft die Gleichgewichtszustände des Nerven erschütternd wirkte, wie eine gröſsere Veränderung bei kleinerer Spannung; gleichwie ein weiteres Anziehen der Sehne eines gespannten Bogens um ein Stück der Länge des Pfeiles $= a$ einer gröſseren Summe beschleunigender Kräfte, welche nachmals auf denselben wirken, vorstellen kann, als ein Anziehen um eine Strecke $na$, wenn die Sehne noch fast erschlafft ist. Ein solches Verhältniſs findet statt bei der Induction, deren Erscheinungsweise im Uebrigen, wie wir nachmals erfahren werden, ganz eine und dieselbe ist mit der der Zuckungen. Hier ist die Gröſse der Erregung unabhängig von der absoluten Höhe der Ordinaten der Curve der Stromstärken bezogen auf die Zeit, zwischen welchen die Schwankung vor sich geht; dem entsprechend müſste hier $\Delta$ aus dem Ausdruck für $d\eta$ fortfallen.

Nichtsdestoweniger giebt es einen Versuch von Matteucci, wonach $d\eta$ mit wachsendem $\Delta$ abnehmen würde.[1] Derselbe schloſs eine Trogvorrichtung von 15 Kupferzinkplattenpaaren (muthmaſslich von $50^{mm}$ Seite[2]) mittelst eines über die Ränder zweier mit Wasser gefüllter Gläser, worin die Enden der Säule tauchten, gelegten Froschschenkels. Brachte er nun die Enden eines Kupferzinkbogens in das Wasser der Gläser, so zeigte ein in dem Kreis der Säule befindlicher Multiplicator, je nach der Richtung des Stromes des hinzugefügten Elementes, eine Vergröſserung oder eine Verkleinerung der Ablenkung; der Frosch hin-

[1] Essai etc. p. 18. Chap. VIII. fig. 6.*

[2] Ibid., p. 57.*

gegen blieb unbewegt. Der Erfolg war der nämliche, als MATTEUCCI 30 Plattenpaare anwandte und mit dem ungleichartigen Bogen Muskeln und Nerven des Froschschenkels in beliebiger Richtung unmittelbar berührte, nur daſs jetzt auch der Multiplicator schwieg. Dieser letztere Umstand ist einsichtlich, da man annehmen kann, daſs der Widerstand der von dem Bogen umfaſsten Strecke des Schenkels jetzt gegen den der andern Nebenschlieſsung verschwand, was früher nicht der Fall zu sein brauchte, wo dieser letztere Zweig nichts enthielt, als die Säule und die kurzen Wasserschichten an ihren beiden Enden, und für unsere Ansicht würde eben sprechen, daſs der Frosch auch dann nicht zuckte, wenn der Bogen so angelegt war, daſs sein Strom denselben in der nämlichen Richtung durchlief, als der der Säule. Ganz unerklärlich ist aber, warum der Frosch bei der entgegengesetzten Lage des Bogens nicht eine lebhafte Oeffnungszuckung zeigte, was, dem oben S. 267 angeführten Versuche MARIANINI's zufolge, auch dann hätte der Fall sein müssen, wenn der Bogen nur aus einem Metalle gemacht gewesen wäre; vollends hier, wo derselbe nicht nur als Nebenschlieſsung von geringem Widerstande, sondern auch als verkehrt wirkendes Glied einer zusammengesetzten Kette in Betracht kam. Ergiebt sich bereits hieraus ein Verdacht gegen den Werth dieses Versuches, so wird derselbe noch dadurch bedeutend erhöht, daſs MATTEUCCI sich enthalten hat, denselben im »*Traité etc.*« wieder vorzubringen. Diese Frage muſs demnach, bis auf Weiteres, unentschieden bleiben.

### (III) Von dem Einflusse der Länge der vom Strom durchkreisten Nervenstrecke auf die Gröfse der Erregung.

Daſs die Länge des Nerven, welche vom Strom durchlaufen wird, einen befördernden Einfluſs auf die Stärke der Erregung ausübe, ist oben S. 254 schon aus dem praktischen Gesichtspunkte angemerkt worden. Ich finde dies bestätigt durch PFAFF,[1] v. HUMBOLDT[2] und RITTER;[3] in

[1] Ueber thierische Elektricität und Reizbarkeit u. s. w. S. 24. 72. 223. 310.* — In GEHLER's physikalischem Wörterbuche u. s. w. Artikel »Galvanismus«. Bd. IV. Abth. II. S. 759* sagt PFAFF, auch VOLTA habe gleich in seiner ersten Abhandlung dies Gesetz mit Reibungselektricität erwiesen; indeſs habe ich die Stelle nicht ausfindig machen können.

[2] Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Bd. I. S. 209.*

[3] Beweis, daſs ein beständiger Galvanismus u. s. w. S. 28.* — Beweis, daſs die galvanische Action oder der Galvanismus auch in der Anorgischen Natur möglich und wirklich sei. Beiträge u. s. w. Bd. I. St. 1. S. 133.*

neuerer Zeit durch Guérard.[1] Matteucci spricht davon gelegentlich wie von einer Thatsache, die keiner Frage unterliegt.[2] Wir werden übrigens später noch in unseren eigenen Versuchen auf diesen Punkt zurückzukommen haben.[3]

Da der gröfste Theil der hieher gehörigen Erfahrungen mit Hülfe einfacher Bögen aus ungleichartigen Metallen gewonnen ist, wobei der Widerstand der übrigen Kettentheile also gänzlich gegen den der Nervenstrecke verschwand, so scheint es, als habe die Stromstärke durch das Einschalten gröfserer Nervenstrecken in einer hyperbolischen Curve sinken müssen. $d\eta$ mufste also mit der Länge $l$ so schnell wachsen, dafs dadurch sogar der Einfluſs der Verkleinerung überwogen werden konnte, den das Integral $\eta$ durch die Schwächung der Stromstärke in der oben S. 260 zergliederten Weise erleidet. Da man aber nicht einsieht, wie durch die Verlängerung der vom Strom betroffenen Strecke die Abhängigkeit der Erregungsgröfse $\varepsilon$ vom Differentialquotienten der Dichtigkeitscurve und möglicherweise ihrer Ordinate selbst verändert werden könne, so scheint in diesem Falle die einfachste Annahme die, dafs die rechte Seite der Formel (v) S. 293 mit einer Function $\psi(l)$ der Länge jene Strecke zu multipliciren sei, welche in der angegebenen Weise schnell mit ihrem Argumente wächst.

Becquerel hat zuerst die gewifs beachtenswerthe Betrachtung angestellt, ob nicht die stärkere Erregung der Nerven durch den elektrischen Strom, im Vergleich zu allen übrigen Reizmitteln, auf der gröfseren Ausdehnung beruhen möchte, in er er sie zu treffen vermag;[4] wohlbemerkt, ohne zugleich die unteren Theile für die von den darübergelegenen Punkten ausgehenden Strömungen des sogenannten Nervenprincips undurchgängig zu machen.

### (iv) Von dem Einflusse des Winkels zwischen den Strömungsrichtungen der Elektricität und des sogenannten Nervenprincips auf die Gröfse der Erregung.

Auch der Winkel, unter dem der Strom die Axe der Primitivröhren schneidet, kommt bei der Gröfse der Erregung in Betracht. Man hat bisher, aufser den beiden mit dieser Axe zusammenfallenden Strömungsrichtungen, nur noch eine andere, die darauf senkrechte näm-

[1] L'Institut. t. X. No. 466. p. 426.* (Séance de la Société philomatique du 19 Novembre 1842.)

[2] Bibliothèque universelle. Nouvelle Série. 1838. t. XVIII. p. 357.* — Essai etc. p. 6.* — Traité etc. p. 219.*

[3] S. unten, Kap. VII. §. viii.

[4] Traité expérimental etc. t. IV. p. 284. §. 968.*

lich, untersucht, indem die geringe Dicke der zu Versuchen dieser Art einzig tauglichen Froschnerven und die Eigenschaft des elektrischen Stromes, sich in den Leitern gleichmäfsig auf allen ihm freigestellten Wegen auszubreiten, diese Einschränkung auferlegt.

Die ersten Erfahrungen hierüber sind von Galvani selbst in seinen Briefen an Spallanzani. Lege man quer über einen Nerven ein anderes Nervenstück und an dieses die ungleichartigen Metalle, so zucke der zu dem ersten gehörige Muskel nicht.[1] Spanne man zwischen beiden Metallen einen wohlbefeuchteten Hanffaden aus, »un filo di »canapa ben molle e ben zuppo,« und bringe senkrecht darauf den Nerven eines isolirten Präparates an, so bleibe dieses beim Schliefsen der Kette in Ruhe, nicht aber, wenn der Nerv dem Faden in einer gewissen Ausdehnung entlang gelegt oder zu einem Bogen geschlungen an zweien Punkten damit in Verbindung gesetzt werde.[2]

Einen ähnlichen Versuch mit gleichem Erfolge hat v. Humboldt.[3] Ritter hingegen verkündigt unter diesen Umständen Zuckungen bei sehr erregbaren Fröschen.[4] Joh. Müller erwähnt mehreremale die Möglichkeit, durch einen queren, durch die Dicke des Nerven gerichteten Strom Zuckungen zu erregen.[5] Nasse der Jüngere macht darauf aufmerksam, dafs die peripherischen Stümpfe durchschnittener Nerven früher unfähig werden, bei querer Richtung des Stromes Zuckungen zu erregen, als beim Hindurchführen desselben wie gewöhnlich der Länge nach.[6]

Matteucci hat gleichfalls diesem Umstande seine Aufmerksamkeit zugewendet. Zuerst brachte er die Poldrähte einer galvanischen Säule einander gegenüber an dem Ischiadicus eines Kaninchens oder eines Frosches an. Auf diese Weise erhielt er nur sehr schwache Zuckungen und manchmal blieben sie ganz aus. Matteucci fürchtete indefs, dafs dies mehr von der Kürze der vom Strom durchlaufenen Strecke, als von seiner Richtung herrühre, um so mehr, als die geringe Breite des Nerven ihm nicht gestattete, die Verbindungslinie beider Enden der Säule wirklich senkrecht auf die Längsaxe desselben zu stellen. Um den Nerven in einer längeren Strecke einem senkrechten Strome auszusetzen, traf er folgende Einrichtung. Er hing einen Froschschenkel,

[1] Opere edite ed inedite ec. Seconda Memoria allo Spallanzani. 1797. p. 341. 342.*

[2] Ivi, quinta Memoria. p. 422. 423.*

[3] Versuche u. s. w. Bd. I. p. 203. 205. Fig. 58.*

[4] Beiträge u. s. w. Bd. I. St. 1. 2. S. 165. Fig. 32. 33.*

[5] Handbuch der Physiologie u. s. w. Bd. I. 4. Auflage. S. 542. 555.*

[6] Müller's Archiv für Anatomie, Physiologie u. s. w. 1839. S. 419.*

an dessen Plexus ischiadicus noch ein Stück Wirbelsäule befindlich war, welches noch überdies mit einem kleinen Gewicht beschwert werden konnte, dergestalt über einem Gefäſs mit Wasser auf, daſs der Nerv in demselben lothrecht schwebte. An den Rand des Glases waren die, ihre Spitzen ausgenommen, sorgfältig gefirniſsten Poldrähte einer Säule so befestigt, daſs die Verbindungslinie der Spitzen den Nerven senkrecht schnitt. Beide Spitzen befanden sich in 3—4$^{mm}$ Entfernung von dem Nerven. Die Säule war eine Trogvorrichtung mit ziemlich gesättigter Kochsalzlösung zum flüssigen Leiter. Die Zahl der Plattenpaare belief sich auf 15 bis 45. Unter diesen Umständen seien niemals Zuckungen eingetreten, ebensowenig, als Matteucci von beiden Drähten Firniſs, aber bis zu gleichen Höhen, entfernte; sie erschienen sogleich, wenn einer der beiden Drähte höher als der andere gestellt, oder wenn dem Nerven eine wagrechte Lage (wahrscheinlich doch der Axe des Stromes parallel oder unter einem mehr oder weniger spitzen Winkel gegen dieselbe) ertheilt wurde. [1]

Guérard legte an Hunden und groſsen Kaninchen den Ischiadicus bloſs, durchschnitt ihn am Becken, und brachte zu beiden Enden einer die Längsaxe des Nerven senkrecht schneidenden Geraden die Poldrähte einer Zinkkupferkette an, welche mit schwefelsaurer Kupfer- und Kochsalzlösung, durch Leinwand getrennt, zugerichtet war: er erhielt keine merkliche Zuckung, die jedoch alsbald eintrat, wenn die Verbindungslinie eine geneigte Lage gegen die Axe erhielt. [2]

Der Berichterstatter über Physiologie in dem Jahresberichte des Müller'schen *Archiv's*, Th. L. Bischoff, hängt der Mittheilung dieses Versuchs a. a. O. 1843. S. xcv.* ein Fragezeichen an.

In Matteucci's seitdem erschienenem *Traité etc.* findet sich noch ein Verfahren mitgetheilt, um die Unwirksamkeit querer elektrischer Ströme zu erhärten. Auf einer isolirenden Unterlage sind zwei stromprüfende Froschschenkel mit senkrecht gekreuzten Nerven gelagert. Der eine Nerv wird zerschnitten und seine beiden Stümpfe um 3—4$^{mm}$ von dem unversehrten entfernt. Auf die Kreuzungsstelle läſst man einen Tropfen destillirten Wassers fallen, der, bei seiner Ausbreitung, beide Enden wieder in leitende Verbindung setzt, oder man vollzieht diese Verbindung mittelst eines nassen Pinsels. Wird nun ein Strom durch den zerschnittenen Nerven geleitet, so daſs die Kreuzungsstelle zwischen

[1] Bibliothèque universelle. Nouvelle Série. 1838. t. XVIII. p. 357.* — Essai etc. p. 6.* — Traité etc. p. 219.* — »La grenouille s'est de même contractée, »quand j'ai coupé le morceau de moelle épinière; alors sans avoir touché aux deux »fils, j'ai vu le filet nerveux venir s'étendre sur la surface de l'eau.« (?)

[2] L'Institut. t. X. 1842. No. 466. p. 426.*

beide Elektroden fällt, so zuckt zwar der zugehörige Muskel, nicht aber der des senkrecht auf seine Längsaxe durchströmten Nerven. MATTEUCCI gesteht indefs zu, dafs bei Anwendung einer grofsen Anzahl Plattenpaare auch der letztere in Bewegung gesetzt wird. Er fügt die Bemerkung bei, dafs bei dieser Anordnung die Dünne der Wasserschicht nicht verstatte, anzunehmen, dafs der Strom sich nur durch dieselbe, und nicht auch durch den Nerven ausgleiche. Nach den von OHM ins Klare gesetzten Begriffen (und schon CAVENDISH hätte MATTEUCCI hier eines Bessern belehren können!) ist zwar diese Bemerkung völlig unstatthaft; sie ist aber geeignet, auf einen Uebelstand seines ersten Verfahrens hinzudeuten, der in der Sprache der erwähnten Theorie ausgedrückt darin besteht, dafs in dem Querschnitte der Flüssigkeit, in dem der Nerv befindlich war, die Dichtigkeit des Stromes wegen seiner Verbreitung gerade am allerkleinsten sein mufste. Indessen setzt die Anwendung des Tropfens wieder eine grofse Macht der Säule voraus, wenn nicht, trotz der gröfseren verhältnifsmäfsigen Dichtigkeit, die absolute Dichtigkeit in dem Nerven geringer als bei dem Gefäfse ausfallen sollte. Dazu kommt, für diese letztere Verfahrungsart, noch der Nachtheil, dafs sie in Betreff der senkrechten Leitung des Stromes zu wenig Genauigkeit verstattet.

Ich selbst habe über den fraglichen Punkt einige Versuche angestellt, von denen ich das Einzelne jedoch erst später, bei der Gelegenheit, die mir dazu Veranlassung gab, mittheilen möchte.[1] Das Ergebnifs derselben war, dafs allerdings die senkrechte Strömungsrichtung die bei weitem ungünstigere zur Erregung der Nerven ist, so dafs die Zuckungen, bei einer gewissen Kürze der senkrecht getroffenen Strecke, sogar gänzlich verschwinden.

Auch hier scheint die einfachste Annahme die zu sein, dafs man die rechte Seite des Ausdruckes

$$d\eta = \psi^{t}(l) \cdot F\left(\Delta, \frac{d\Delta}{dt}\right) \cdot dt$$

abermals mit einem für alle Werthe des Differentialquotienten u. s. w. beständigen Factor $\Omega_{(\varphi)}$ zu multipliciren habe, wo $\varphi$ den Winkel bedeutet, den die Strömungsrichtung mit den Nervenröhren macht. $\Omega_{(\varphi)}$ selbst aber mufs eine so beschaffene Function dieses Winkels sein, dafs sie, wie der Cosinus, für $\varphi = 90°$ verschwindet, für $\varphi = 0$ der Einheit gleich ist.

Die bisherige Erörterung setzte voraus, dafs die Veränderungen des Winkels $\varphi$ sich innerhalb 90° hielten. Es bleibt übrig zu unter-

[1] S. unten, 3. Abschn., Kap. VII. §. 11. 4.

suchen, welchen Einfluſs eine Veränderung dieses Winkels über 90° hinaus, d. h. also eine Strömungsumkehr in dem Nerven mit Bezug auf Ursprung und Ausbreitung desselben äuſsern mag. So werden wir auf das im Vorhergehenden schon so häufig angedeutete, äuſserst wichtige Gebiet der Elektrophysiologie geführt, welches sich mit den Bedingungen des Eintretens und Ausbleibens von Schlieſsungs- und Oeffnungszuckung je nach der Richtung der Ströme in den Nerven beschäftigt. Wir widmen demselben einen besonderen Paragraphen, mit um so mehrerem Rechte, als hier, wie man unschwer durchschaut, der praktische Gesichtspunkt wiederkehrt, wie das physiologische Rheoskop zur Angabe auch der Richtung der Ströme tauglich zu machen sei. Zuvor jedoch wollen wir uns noch einigen Betrachtungen über das allgemeine Gesetz der Nervenerregung durch den Strom hingeben, denen man wenigstens das Verdienst einer augenblicklich reizenden Gesichtstäuschung nicht wird absprechen können, selbst wenn nichts Tieferes darunter im Hinterhalt liegen sollte.

## 5. Vergleich der Nervenerregung mit der Induction.

Es wurde oben gesagt, daſs Matteucci, indem er ein Zinkäquivalent der durch den elektrischen Strom bewirkten Muskelanstrengung zu bestimmen suche, in denselben Fehler verfalle, den ein Physiker begehen würde, wenn er den Zinkverbrauch in der erregenden Kette dem durch die inducirten Ströme niedergeschlagenen Aequivalente proportional setzte.

In der That, es waltet zwischen dem nervenerregenden und dem inducirenden Vorgange ihrer allgemeinen Gestalt nach die merkwürdigste Uebereinstimmung ob. Das Verdienst, zuerst derselben öffentlich gedacht zu haben, gebührt Marianini.[1] Er vergleicht den Oeffnungsstrom mit der Oeffnungszuckung und zeigt, daſs man jenen, wie diese, durch bloſse Ableitung eines Theils des erregenden Stromes, durch plötzliches Einführen eines bedeutenden Widerstandes, hervorbringen könne; daſs er auch dann entstehe, wenn kein Schlieſsungsstrom dagewesen sei (S. oben S. 267. 268). Die Versuche und die theoretischen Betrachtungen, welche Marianini, von diesen Aehnlichkeiten ausgehend, anstellte, werden uns anderwärts in den Weg treten nnd alsdann Berücksichtigung finden (S. unten, §. v).

Dieser Vergleich läſst sich aber, und ich hatte dies bereits vor Jahren, ohne von Marianini's Arbeit Kenntniſs zu haben, selbständig gethan, nicht nur tiefer fassen, sondern auch noch mehr ins Einzelne verfolgen.

[1] Mémoire sur le courant qui se produit dans un circuit métallique fermé quand on arrête le courant voltaïque qui circule près de ce fil. (Lu à la réunion des savants italiens à Florence en 1841.) Annales de Chimie et de Physique. Juin 1844. 3. Série. t. XI. p. 395.

(1) Der Inductionsstrom findet, gleich dem Strom des Nervenprincips, nur im Augenblicke des Schliefsens und Oeffnens der Kette, nicht während der Dauer des erregenden Stromes in beständiger Gröfse statt. Auch hier stellen Schliefsung und Oeffnung nichts weiter vor, als Schwankungen der Curve der Stromstärken in dem einen und dem andern Sinne, welche von Null ausgehen und auf Null zurückführen, d. h. jede Schwankung der Stromstärke bringt Induction hervor. Daher, wie Manchem bekannt sein wird, die empfindlichen Stöfse beim Reiben der Enden der erregenden Kette gegeneinander, gerade wie die ersten Galvanisten fanden, dafs Erschütterung der ungleichartigen Metallbelege das Erscheinen der Zuckungen befördere. Auch hier gilt demnach das oben ausgesprochene allgemeine Gesetz der Nervenerregung durch den elektrischen Strom, wenn man nur, da es sich um eine Wirkung nach Aufsen handelt, folglich die Division durch den Querschnitt fortfällt, für Dichtigkeit Stromstärke, für den Nerven den inducirten Kreis, für Erregung Induction setzen will. Auch die Induction in jedem Augenblicke ist eine mit der Veränderlichen wachsende Function des Differentialquotienten der Curve der Stromstärken, und zwar ist sie demselben proportional, und im Uebrigen von den absoluten Stromstärken, zwischen denen die Schwankung vor sich geht, unabhängig.[1] Auch die Induction ist also von der Elektricitätsmenge, die sich im erregenden Strömungsvorgange abgleicht, unabhängig, und nur durch Nebenumstände und willkürliche Bestimmungen mit derselben verknüpft. Daher der obige Vergleich, in welchen unsere Bekämpfung von Matteucci's Irrthümern sich schliefslich, als in ihren bündigsten Ausdruck, zusammenzog. Es ist hiernach möglich, die Abhängigkeit zu ermessen, welche zwischen der Schwankung eines primären Stromes und der Nervenerregung obwaltet, die erst durch den Inductionsstrom hervorgebracht wird, der jener Schwankung den Ursprung verdankt. Denn das Uebrige aufser Acht gelassen, hat man, wenn man mit $I$ die Stärke des ursprünglichen, mit $I_1$ die des inducirten Stromes in jedem Augenblicke, mit $Q$ den Querschnitt des Nerven ($\Delta = I_1 : Q$), bezeichnet:

$$I_1 = \frac{dI}{dt};$$

folglich:

$$\varepsilon = F\left(\frac{1}{Q}\frac{d^2I}{dt^2}\right);$$

[1] Vergl. Neumann's Auszug aus seiner Abhandlung: »Allgemeine Gesetze der inducirten elektrischen Ströme« in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1846. Bd. LXVII. S. 31.«

d. h., die Nervenerregung in jedem Augenblicke wächst alsdann, wie die Gröfse des inducirten Stromes zweiter Ordnung, weil Nervenerregung und Induction einerlei Gesetz befolgen, mit dem zweiten Differentialquotienten der Curve der Stromstärken im inducirenden Leiter.

(2) Die Induction ist ferner der Länge des der inducirenden Ursache gleichmäfsig ausgesetzten Leiters proportional. Es ist oben bemerkt worden, dafs auch die Nervenerregung mit der Länge der vom Strom betroffenen Strecke in raschem Mafse wachse.

(3) Man erinnert sich, dafs der Entdecker der Induction anfangs einen besonderen Zustand der Leiter annahm, in den sie durch die Annäherung an einen anderen durchströmten Leiter oder einen Maguet, oder durch das Entstehen eines Stromes oder von Magnetismus in ihrer Nähe gerathen sollten. Das Hineingerathen in denselben sah er als das Ursächliche des Schliefsungs-, das Austreten daraus als das des Oeffnungsstromes an.[1] Indefs vermochte Faraday dieser Vorstellung eines »elektrotonischen« Zustandes der Materie, wie er ihn genannt wissen wollte, damals keine thatsächliche Grundlage zu verleihen, und hat ihn demgemäfs in seinen späteren Bekanntmachungen auf sich beruhen lassen.

Hier nun gab sich mir, bis auf die neueste Zeit, ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Vorgange der Induction und dem der Nervenerregung durch den Strom kund. In der That, wie oben bereits angedeutet wurde, es wird sich zeigen, dafs die Nerven, während der ganzen Zeit, dafs sie vom Strom durchkreist sind, sich in einem veränderten, einem Zustande der Spannung ihrer elektrischen Kräfte befinden; dafs das Eintreten dieser Veränderung unter dem Zwange des Stromes eben das Erzeugende des Bewegung- und Empfindungvermittelnden Vorganges ist, der sich zu Anfang desselben beziehlich ab- und aufwärts in denselben fortpflanzt; dafs das augenblickliche Zurückkehren des natürlichen Zustandes, so wie der Strom unterbrochen wird, oder die möglichst grofse Annäherung an denselben, wenn er nur eine Schwächung, eine negative Schwankung erfährt, aller Wahrscheinlichkeit nach den Grund der Oeffnungszuckung, des Oeffnungsschmerzes enthält.

Die Nerven also zeigen einen elektro-tonischen Zustand; und die inducirten Leiter schienen keinen dergleichen zu besitzen. Seitdem aber hat sich Faraday für das Démenti, welches ihm vor anderthalb Jahrzehenden die Natur gegeben, die glänzendste Genugthuung verschafft. Ich meine seine Entdeckung des veränderten Molecularzustandes gewisser Körper unter dem Einflusse elektrodynamischer und magnetischer

[1] Experimental Researches in Electricity (Collected from the Philosophical Transactions). London 1839. p. 16.* Series I. November 1831. §. 3. New Electrical State or Condition of Matter.

Resultanten, der sich bei Untersuchung derselben mittelst des polarisirten Lichtstrahles ergiebt.[1] Obschon sich diese Beobachtungen zunächst auf Nichtleiter und Leiter zweiter Klasse beziehen, so ist doch zu glauben, dafs, wenn die Metalle und die Kohle durchsichtig wären, auch sie Erscheinungen ähnlicher Art darbieten würden, und somit, zwar nur vermuthungsweise, aber mit einem hohen Grade von Berechtigung, die Uebereinstimmung zwischen dem von FARADAY und dem von GALVANI entdeckten Gebiete elektrischer Wechselwirkungen auch in diesem Punkte vervollständigt.

(4) Man weifs, dafs der Schliefsungsstrom und der Oeffnungsstrom entgegengesetzter Richtung sind. Der erstere ist dem erregenden Strom entgegengesetzt, der letztere ist ihm gleichgerichtet. Kehrt man den erregenden Strom um, so zeigt also der Schliefsungsstrom nunmehr dieselbe absolute Richtung wie vorher der Oeffnungsstrom, der Oeffnungsstrom dieselbe wie der Schliefsungsstrom. Auch hierin die Aehnlichkeit des Inductionsvorganges mit dem der Nervenerregung zu erweisen, ist eine Aufgabe, welche dem folgenden Paragraphen zufällt, wo wir den Einfluſs der verschiedenen Strömungsrichtung in den Nerven auf ihre Erregung erst ins Auge fassen wollen.

(5) Einer ferneren Eigenthümlichkeit, worin beide Erscheinungen übereinkommen, wird im vierten Paragraphen dieses Kapitels gedacht werden. Sollte es zu gewagt sein, danach eine mehr oder weniger enge Uebereinstimmung in der Form des mechanischen Molecularvorganges in beiden Fällen zu vermuthen; und sollte es für die allgemeine Nervenphysik nicht gerathen sein, diesen Wink nicht aus den Augen zu lassen, der ihr von grofsem Nutzen werden kann, wenn der Lehre von dem Wesen der Induction selbst vielleicht bald ein mehr in die Tiefe führender Fortschritt gelingt.

---

## §. III.

## Von dem Einflusse der Richtung des Stromes in den Nerven auf die Gröfse der Erregung, und von der Bestimmung der Richtung eines Stromes mittelst des stromprüfenden Froschschenkels.

Ich theile diesen Paragraphen in drei Theile. In dem ersten suche ich eine allgemeine Vorstellung von dem Gesetze der Zuckungen zu geben, welches sein Gegenstand ist. So schlage ich nämlich vor,

[1] Experimental Researches etc. Series XIX. §. 26. On the Magnetization of Light and the Illumination of Magnetic Lines of Force. Philosophical Transactions etc. For the year 1846. p. I.*

das Ganze der Bestimmungen zu bezeichnen, wonach sich das Erscheinen und Ausbleiben der Oeffnungs- und Schliefsungszuckung je nach dem Sinne des Stromes in dem Nerven und der Stufe der Erregbarkeit richtet. In dem zweiten theile ich die vollständige nach den Quellen bearbeitete Geschichte dieses Gesetzes mit, welches ich aus mehreren Rücksichten thun zu müssen geglaubt habe. Erstens um der Entstellung dieser Geschichte ein Ende zu machen, wie sie uns, obschon zuerst in Deutschland entsprungen, aus Italien und Frankreich erst neuerdings wiedergekehrt ist; zweitens weil sich daran eine grofse Anzahl wichtiger und doch bei dem allgemeinen Untergange der thierischen Elektricität im Anfange dieses Jahrhunderts in Vergessenheit gerathener Lehren und Thatsachen knüpft, deren Kenntnifs für das folgende nicht entbehrt werden kann; drittens um den Mangel eigener fortgesetzter Versuchsreihen über diesen ebenso schwierigen als wichtigen Punkt zu ersetzen, wozu es mir bisher an Mufse gefehlt hat. In dem letzten Theile des Paragraphen werde ich die Ergebnisse unserer geschichtlichen Musterung zusammenzufassen suchen, und mir einen Fingerzeig über diejenige Richtung erlauben, in welcher ich glaube, dafs dieses Gebiet der Elektrophysiologie jetzt vorzugsweise wieder anzugreifen sei. Die praktischen Regeln in Betreff der Bestimmung der Strömungsrichtung mit Hülfe des stromprüfenden Froschschenkels werden sich uns dabei im Laufe der Darstellung ganz von selbst an die Hand finden, und auch über die Zuverlässigkeit dieses ganzen Verfahrens wird es uns alsdann leicht sein, ein berechtigtes Urtheil zu fällen. Indefs auch hiervon soll sogleich das Wesentlichste und Einfachste vorausgeschickt werden.

---

## 1.

## Allgemeiner Ausdruck des Gesetzes der Zuckungen.

Folgendes ist der allgemeinste Ausdruck des Gesetzes der Zuckungen, wie er hinreicht, um die Richtung des Stromes durch die Erscheinungsweise derselben zu erkennen.

»Man findet in den meisten Fällen, und auf der mittleren Stufe der »Erregbarkeit, dafs, je nach der Richtung, in der der Nerv durch»flossen wird, bald die Schliefsungs- und bald die Oeffnungszuckung »stärker ausfällt, ja dafs nur die eine und die andere gar nicht »zum Vorschein kommt. Die stärkere Schliefsungszuckung gehört »dem Strome an, der von dem Ursprunge der Nerven nach ihrer »Ausbreitung gerichtet ist, die stärkere Oeffnungszuckung dem ent»gegengesetzt kreisenden.«

Mit Hülfe dieser Bestimmungen erkennt man also z. B., wenn der Schenkel beim Schliefsen zuckt und nicht beim Oeffnen, einen vom Ursprunge nach der Ausbreitung gerichteten Strom. Zu mehrerer Sicherheit bringt man den Nerven noch in entgegengesetztem Sinne in die Kette, und mufs nun, wenn die erste Bestimmung richtig war, den Schenkel beim Schliefsen ganz oder vergleichsweise ruhig bleiben, beim Oeffnen hingegen zucken sehen. Vollends seiner Sache gewifs wird man, wenn man sich von der Richtigkeit der Aussagen des Schenkels vorher mittelst eines ungleichartigen metallischen Bogens von bekannter Wirkungsrichtung überzeugt hat, dessen Strom mit dem zu prüfenden an Stärke merklich übereinkommt.

So einfach und zuverlässig, als sie sich danach ausnehmen mag, ist indefs die Sache bei weitem nicht, wie sich aus den folgenden Auseinandersetzungen ergeben wird. Um uns aber fortan kurz verständigen zu können, ist es vor allen Dingen nöthig, die beiden Strömungsrichtungen in dem Nerven ein für allemal mit unterscheidenden Namen zu belegen. Nobili hat den Strom vom Ursprung nach der Ausbreitung den rechtläufigen, »corrente diretta, courant direct«, den entgegengesetzten den rückläufigen, verkehrten, »corrente inversa, courant inverse«, genannt. [1] Diese Bezeichnungen büfsen jedoch den Sinn, den sie für die Bewegungsnerven haben, für die der Empfindung ein, die hier gleichfalls oft zur Sprache kommen werden; und ich ziehe daher vor, dieses mit aufsteigendem, jenes mit absteigendem Strome wiederzugeben, indem ich das Hirnende des Nerven als das obere, das Muskelende als das untere auffasse; eine Anschauungsweise, welche nicht unnatürlich zu sein scheint, da schon Monro, [2] Pfaff [3] und Volta [4] sich ihrer bedient haben.

Wir wollen hier, ehe wir uns in die Einzelheiten des Gesetzes der Zuckungen einlassen, sogleich noch den im vorigen Paragraphen mit Rücksicht auf dasselbe unvollständig gebliebenen Kreis von Betrachtungen zu schliefsen suchen. Wir können dies in einer Allgemeinheit und zugleich mit einer Schärfe des Ausdrucks thun, die in diesem Gebiete gewifs ihr Ueberraschendes hat, wenn ich auch gern gestehe, dafs auf diesem Gipfel der Verwickelung der Reizversuche, das mathe-

[1] Memorie ed Osservazioni ec. vol. I. p. 138. * — Annales de Chimie et de Physique. Mai 1830. t. XLIV. p. 65. *

[2] Al. Monro's und Rich. Fowler's Abhandlung u. s. w. S. 26. *

[3] Ueber thierische Elektricität u. s. w. S. 353. * — Pfaff, Scherl und Rudolphi, Nordisches Archiv für Naturkunde, Arzneiwissenschaft und Chirurgie. Bd. IV. 1805. St. 3. S. 21. 35. 36. *

[4] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. II. p. 220. *

matische Gewand, welches wir eine Zeit lang behufs leichterer Bewegung anlegten, sich in eine etwas beschwerliche, wenn auch immer noch genau sich fügende Rüstung verwandelt hat.

Oben S. 260 wurde übereingekommen, wenn die Dichtigkeitscurve des Stromes im Nerven die Abscissenaxe schnitte und sich unterwärts von derselben erstreckte, darunter eine Umkehr der Strömungsrichtung zu verstehen. Es mögen nun die positiven Ordinaten die absteigende, die negativen die aufsteigende Strömungsrichtung bedeuten, so sieht man, dafs, nach dem so eben ausgesprochenen Gesetze der Zuckungen, die oben ebendaselbst getroffene Bestimmung nicht stehen bleiben kann, es seien die negativen Integrale $\eta$, gleichviel ob sie herrühren von negativen Schwankungen des absteigenden Stromes, oder von positiven des aufsteigenden, gleich positiven zu behandeln. Negative Schwankungen der Dichtigkeitscurve des absteigenden Stromes nämlich entsprechen Oeffnungszuckungen, positive des aufsteigenden Schliefsungszuckungen. Man weifs jetzt, dafs beide gemeiniglich schwächer ausfallen im Vergleich zu den durch positive Schwankungen des absteigenden Stromes bewirkten Schliefsungs- und den durch negative Schwankungen des aufsteigenden bewirkten Oeffnungszuckungen, ja dafs sie manchmal auf niederen Stufen der Erregbarkeit auch wohl ganz auszubleiben pflegen. Es ist daher nun jene Bestimmung dahin abzuändern, dafs die negativen Integrale, nach Umkehrung des Zeichens, mit einem Gewichte zu multipliciren sind, welches um so mehr unter die Einheit sinkt und sich der Null nähert, je längere Zeit bereits seit der Zurichtung der thierischen Theile verflossen ist.

Man hat nicht vergessen, dafs die Untersuchung, mit der wir uns in diesem Augenblicke beschäftigen, nichts anderes betrifft, als einen besonderen Fall der in der vierten Nummer des vorigen Paragraphen unter (IV) angestellten, welche sich auf den Einflufs bezog, den die Veränderung des Winkels $\varphi$ zwischen der Richtung des Stromes und der Axe der Nervenröhren auf die Gröfse der Erregung ausübt. Sie konnte dort nur bis auf 90° ausgedehnt werden; hier übersehen wir jetzt in seinen Hauptpunkten den ganzen Verlauf der Erscheinungen bis zu einer vollständigen Umkehr der Strömungsrichtung, bis zu $\varphi = 180°$. Dieser Hauptpunkte sind drei, $\varphi = 0°$, welches der absteigenden Strömungsrichtung entsprechen mag, $\varphi = 90°$, und $\varphi = 180°$. Entwerfen wir die Curve $\Omega_{(\varphi)}$ (S. oben S. 299), so ist für $\varphi = 0°$ erwähntermafsen ihre Ordinate $= 1$ zu setzen; für $\varphi = 90°$ tangirt die Curve die Abscissenaxe, für $\varphi = 180°$ kehrt aber nicht die Einheit symmetrisch wieder, sondern von 90° ab bis zu 270°, wo die Curve abermals tangirt, sind die Ordinaten mit dem erwähnten Gewicht multiplicirt

zu denken. Ob dieses selbst noch von $\varphi$ abhängig sei, ist begreiflich nicht zu sagen, da experimentell bis jetzt nur jene drei Hauptpunkte bekannt sind. Diese Auseinandersetzung gilt für die Schliefsungszukkung; für die Oeffnungszuckung ist im Gegentheil die Strecke von 90—270° vom Gewichte frei, dagegen die übrigen 180° damit behaftet zu denken.

Endlich ist, versprochenermafsen, der Vergleich der Nervenerregung mit der Induction nun auch in so fern zu vervollständigen, als nachgewiesen wird, dafs, gleichwie bei letzterer Schliefsungs- und Oeffnungsstrom entgegengesetzter Richtung sind, hier positive und negative Schwankungen des erregenden Stromes entgegengesetzte Wirkungen im Nerven herbeiführen. Dies kann sich, weil bei den Zuckungen keine Zeichenverschiedenheit stattfindet, nicht etwa in einem Gegensatze der Oeffnungs- und Schliefsungszuckung bei einer und derselben Strömungsrichtung aussprechen; dafür ist ein solcher Gegensatz jedoch darin unverkennbar angedeutet, dafs die Oeffnungszuckung des absteigenden Stromes sich der Schliefsungszuckung des aufsteigenden gleich verhält, umgekehrt die Oeffnungszuckung dieses der Schliefsungszuckung des ersteren; gerade wie, (was oben S. 303 (4) als eine Ueberbestimmung erscheinen mochte,) der Schliefsungsstrom bei der einen Richtung des erregenden Stromes mit dem Oeffnungsstrome bei entgegengesetzter Richtung, und umgekehrt, gleichgerichtet ist.

---

## 2.

## Geschichtliche Darstellung der Erfahrungen über das Gesetz der Zuckungen.

### (1) Entdeckung des Gesetzes der Zuckungen durch Pfaff im Jahre 1793.

Die älteste hiehergehörige Beobachtung ist von Volta selbst mit Reibungselektricität in den allerersten Zeiten des Galvanismus angestellt, und hat bereits oben S. 52, bei Gelegenheit der Geschichte des Froschstromes, Berücksichtigung gefunden. Volta, der damals noch von den Galvani'schen Voraussetzungen ausging, suchte einen Weg, die Elektricität der »angeblichen animalischen Leydner Flasche«, welche Muskel und Nerv vorstellen sollten, strenger darzuthun, als dies durch Galvani geschehen war und wo möglich die Art ihrer Ladung zu bestimmen. Da er nun die Zuckung beim Anlegen des Metallbogens einer Entladung zuschrieb, die durch den Nerven ihren Weg nehme, und da er

wufste, dafs zwei geladene Flaschen, mit den entsprechenden Belegungen in Berührung gebracht, bei hinreichender Gleichheit keine merkliche Störung des elektrischen Gleichgewichtes bewirken, während eine heftige Entladung die Folge der Verbindung der entgegengesetzt geladenen Belegungen ist; [1] so hoffte er einen Unterschied wahrzunehmen, wenn er eine äufsert schwach geladene Flasche mit ihrem Knopfe bald an die Nerven, bald an die Muskeln anlegte, während die äufsere Belegung im letzten Fall die Nerven, im ersten die Muskeln, berührte. Wirklich gehörte nun eine ungefähr fünfmal stärkere Ladung dazu, um Zuckung zu bewirken, wenn der Knopf an die Muskeln als wenn er an die Nerven angelegt war. Volta schlofs dazumal daraus auf die Positivität des Muskeläufseren, [2] Galvani's Ansicht zuwider, der den Nerven für positiv elektrisirt hielt, in Uebereinstimmung dagegen mit den Thatsachen, welche jetzt, nach einem halben Jahrhundert, die verfeinerten Beobachtungsmittel festzustellen gestattet haben. [3] Nichtsdestoweniger rührte in diesem Falle der Erfolg wohl daher, dafs ein schwacher absteigender Strom oft da noch Zuckungen hervorbringen kann, wo er sich aufsteigend bereits unvermögend erweist. In diesem Sinne haben später Volta [4] selbst und Ritter [5] diesen Versuch mit Erfolg wiederholt. Habe man die Flasche zu stark geladen, so pflege, nach Ritter, das Residuum der ersten oder eine der ferneren Entladungen die Erscheinung zu zeigen. In dem fünften Paragraphen dieses Kapitels findet sich gleichfalls ein Fall beschrieben, in dem mit statischer Elektricität das oben ausgesprochene Gesetz bewährt wird.

Als der eigentliche Entdecker der hier in Rede stehenden Gruppe von Thatsachen ist meines Wissens Pfaff zu nennen, der bereits in

[1] S. Dove über den »Ladungsstrom« in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1845. Bd. LXIV. S. 81.*

[2] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. Lettera al Sr. Dr. G. Barosio (Milano, 3 Aprile 1792), p. 9. §. 19; — Memoria prima sull' Elettricità animale. Parte seconda, p. 39. §. 3. seg.; — Memoria seconda, p. 78. §. 44.* Volta fügt übrigens sogleich an der ersten Stelle, mit dem ihm eignen Tacte hinzu, und besteht auch fernerhin eifrig darauf: »Checchè ne sia della pretesa parità colla boccia di Leyden, »quello che viene direttamente provato dalle mie sperienze si è, che uno forza elet»trica prodigiosamente piccola vale a produr l'effetto delle convulsioni, s'ella è ap»plicata in maniera, che il fuoco elettrico si tiri dall' esteriore dei muscoli e si »faccia entrare pe' nervi; e che all' incontro tirandolo da questi per portarle all' »esteriore de' primi, vi vuole a far nascere le stesse convulsioni una forza elettrica, »sebben piccola ancora, quattro volte almeno maggiore di quella prima.«

[3] S. unten, 3. Abschn., Kap. II. §. II.

[4] Zweiter Brief an Aldini. In Ritter's Beiträgen u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. S. 43. Anm.*

[5] Gilbert's Annalen der Physik. 1804. Bd. XVI. S. 296.*

den Jahren 1793—1795 eine ausführliche und tiefgehende Darstellung derselben gab. Mit dem vollständigsten Unrecht wird dieses grofse Verdienst von Bellingeri [1] und nach ihm von Marianini [2] und Matteucci [3] für Lehot in Anspruch genommen, dessen Abhandlung diesem Jahrhundert angehört, während in das vorige sogar noch Galvani's, Michaelis, Volta's, und zum Theil Ritter's Arbeiten über denselben Gegenstand fallen. Neuerdings hat auch Matteucci versucht, Valli die erste Wahrnehmung der Art zuzuschreiben. Er sagt *Traité etc.* p. 15: »Valli a trouvé le premier que la contraction est plus violente »lorsque des deux métaux, ou armatures, étain et argent, par exemple, »c'est l'étain qui est appliqué aux nerfs et l'argent aux muscles .... »Dans le n° 10 du procès-verbal fait par les commissaires de l'Aca»démie chargés de répéter les expériences du physicien de Pise, se »trouvent les faits qui prouvent les résultats déduits par Valli, et »dont nous venons de parler.« Der Bericht dieser Commission, an welcher Theil hatten Vicq-d'Azyr, Coulomb, Leroi, und welche in Fourcroy's Laboratorium arbeitete, liegt mir in Reinhold's Uebersetzung aus Sue's *Geschichte des Galvanismus* vor. (A. a. O. S. 22.*) Er enthält, so gut wie Valli's neun Briefe über die thierische Elektricität, zwar eine Menge Andeutungen über mehr oder minder kräftige Zuckungen, die durch diese oder jene Anordnung hervorgebracht werden, jedoch nichts von einer durch Vertauschung der Metalle bewirkten Veränderung der Stärke der Zuckungen, worauf es hier lediglich ankommt. Valli hat die Oeffnungszuckung, das allmählige Absterben der Nerven von ihrem Ursprung nach ihrer Ausbreitung hin, die grössere Stärke der Zuckungen beim Schliefsen mittelst des erregenden Bogens von den Muskeln nach den Nerven statt in umgekehrter Richtung, die Wirkungen der Unterbindung u. d. m. theils zuerst, theils wenigstens dem Anschein nach selbständig festgestellt: allein auf die hier in Rede stehende Erscheinung hat er, so viel ich sehe, keinen Anspruch.

Bis hieher war die Trennungszuckung beinahe unbekannt geblie-

[1] Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino. t. XXIII. 1818. p. 158.* — Bellingeri sagt von der Oeffnungszuckung, sie sei von Valli und später von Reinhold entdeckt worden; »questi autori furono paghi di fare la pre»sente osservazione e non si studiarono punto di ricercare la ragione, e le circo»stanze, nelle quali una tal cosa succedea: era riservato a Lehot l'indagine di »questo fatto curioso.« Es ist erlaubt, bei der schweren Zugänglichkeit der Quellen, die Geschichte der Wissenschaft nicht zu kennen; es ist aber zum wenigsten höchst unvorsichtig, da, wo man um keine Thatsachen weifs, das Nichtvorhandensein derselben als ausgemachte Thatsache vorweg anzunehmen.

[2] Annales de Chimie et de Physique. Mars 1829. t. XL. p. 236.*

[3] Essai etc. p. 2.* — Traité etc. p. 17.*

ben. Da man nämlich meistens die Nerven mit Stanniol, also einem ziemlich positiven Metalle, umwickelte, nur über sehr geringe Stromstärken gebot und bei der Unbekanntschaft mit der Fortdauer der Wirkung auch über den Augenblick der Schliefsung hinaus keinen Grund hatte, die Kette längere Zeit geschlossen zu halten, so befand man sich, wie zum Theil noch erhellen wird, allerdings in einer für die Wahrnehmung der Oeffnungswirkung sehr ungünstigen Lage. Sie war daher auch GALVANI selbst, bei seinen ersten Arbeiten, völlig entgangen. Er gedenkt ihrer zuerst im Jahre 1794, nämlich im 6. Kapitel des *Trattato dell' uso ec.*, welches überschrieben ist »*Dell' attività »dell' arco interrotto.*«[1] Unterdessen waren ihm jedoch bereits Mehrere, sowohl dies- als jenseits der Alpen, zuvorgekommen. VALLI[2] und FOWLER bemerkten sie zuerst am Froschschenkel, RUTHERFORD bei der durch die einfache Kette bewirkten subjectiven Lichterscheinung, ROBISON bei der Empfindung,[3] die Zink und Silber in einem cariösen Zahne hervorbrachten. PFAFF entdeckte sie, wie es scheint, selbständig und zugleich ihre besondere Beziehung zum aufsteigenden Strome.[4] Er äufserte zwar, mit rühmenswerther Vorsicht, einige Zweifel an der Zuverlässigkeit dieser Beobachtungen (a. a. O. S. 75. 76), weil er damals schon die Bedenken erkannte, die neuerdings wieder, bei der Frage nach dem Schliefsungsfunken der einfachen Kette, in Betreff der Sicherheit des Oeffnens und Schliefsens erhoben worden sind, indem dabei stets eine Reihe aufeinanderfolgender Schliefsungen und Oeffnungen stattfinden kann; ich sehe jedoch hierin keinen Grund, mit REINHOLD ihm ein Leugnen der Oeffnungszuckung zuzuschreiben,[5] um so weniger, als er bei seinen theoretischen Betrachtungen das Dasein derselben als einer Thatsache wohl in Rechnung zieht. (S. 362.)[6]

Bereits in seiner Inaugural-Dissertation vom Jahre 1793, welche im Auszuge übersetzt sich in GREN's *Journal der Physik*. 1794. Bd. VIII. S. 196 findet, machte PFAFF auf die verschiedene Stärke der Zuckungen aufmerksam, die durch die verschiedene Vertheilung des positiven und negativen Metalles an Nerv und Muskel bedingt wird. Er zeigte,

[1] Opere edite ed inedite ec. p. 178. 239.

[2] REINHOLD's Geschichte des Galvanismus u. s. w. S. 25. Versuch 10. nebst Anm. (1792.)

[3] AL. MONRO's und RICH. FOWLER's Abhandlung u. s. w. S. 57. Anm. 120. 178. 180. (1793.)

[4] Ueber thierische Elektricität u. s. w. S. 74. (1795.)

[5] Vergl. auch RITTER in seinem Beweis, dafs ein beständiger Galvanismus u. s. w. S. 46. 47.

[6] Geschichte des Galvanismus u. s. w. S. 25. 26. Anm.

dafs aus zwei von den folgenden Metallen: Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Blei, gebildete Ketten viel stärker wirkten, wenn das in der Reihe nachstehende Metall die Nerven, das vorstehende die Muskeln bewaffne, als wenn das umgekehrte der Fall sei.[1] In einer kurz darauf folgenden Mittheilung dehnte er diese Angaben auf verschiedene Erze, Kohle, Platin, Wismuth, Arsenik und Zink aus, und bemerkte, dafs bei der günstigeren Lage der Metalle die Zuckung nur im Augenblick der Schliefsung eintrat, während in der minder günstigen sich auch eine Trennungszuckung einfand.[2] In seinem Werke: »*Ueber thierische Elektricität und Reizbarkeit*« kam Pfaff ausführlich auf diesen Gegenstand zurück. (S. 69.) Er erklärte daraus die so schwankenden Angaben der Schriftsteller über die Ordnung der Metalle in der galvanischen Spannungsreihe, da alle solche Bestimmungen durchaus nur in Bezug auf eine und dieselbe Vertheilungsweise der positiven und negativen Bewaffnung an Nerv und Muskel gültig sein könnten (S. 71). Auffallend ist, dafs dieselben Versuche Pfaff nicht beim Anlegen der beiden Metalle an den Nerven allein oder an den Rumpf des Frosches und den Nerven glückten, wenn der erstere noch durch den letzteren mit den Schenkeln in Verbindung stand (S. 72), um so mehr, als sie bei Verbindung beider Ischiadnerven durch den ungleichartigen Bogen den früheren Erfolg geben, indem dann stets derjenige Schenkel stärker zuckte, dessen Nerv mit dem negativen Metalle bewaffnet war (S. 73).[3] Die Trennungszuckung bei aufsteigendem Strome war manchmal stärker als die Schliefsungszuckung, ja die letztere fehlte wohl ganz (S. 74); namentlich schien dies auf einer etwas späteren Stufe der Reizbarkeit der Fall zu sein. Nur sehr selten gab der absteigende Strom eine schwache Trennungszuckung (S. 75). Bei Bewaffnung von Rumpf und Nerv zeigte sich nur die Schliefsungszuckung (S. 76). Pfaff klagt übrigens über eine gewisse Unbeständigkeit in allen diesen Ergebnissen, indem manchmal gerade der entgegengesetzte Erfolg von dem eintrat, den man nach dem Obigen zu gewärtigen berechtiget gewesen wäre (S. 75). Nichtsdestoweniger faſste er den Gedanken, mit Hülfe dieses Verhaltens die Reihefolge der Leiter erster Klasse festzustellen, die wir jetzt als Spannungsreihe zu bezeichnen pflegen, d. h. also die besondere Reaction des Nerven auf jede Strömungsrichtung umgekehrt zur Erkenntnifs unbekannter Strömungsrich-

[1] A. a. O. S. 224. 229. 230. 250. 251. 253. Vergl. ebendas. Pfaff's »Fortgesetzte Bemerkungen über die thierische Elektricität.« S. 275.

[2] A. a. O. »Fortgesetzte Bemerkungen u. s. w.« S. 379. 380.

[3] Man mufs voraussetzen, dafs die Schenkel von einander getrennt waren, und dafs die Nerven oberhalb durch das Stück Wirbelsäule in Verbindung standen.

tungen zu verwenden. In der That findet sich in seiner Schrift, S. 97—100, ein bereits sehr vollständiges Verzeichnifs von Erzen und Metallen, die nach ihrem elektromotorischen Vermögen geordnet sind; die Art, wie diese Bestimmungen gemacht wurden, erhellt indefs nicht mit vollkommener Deutlichkeit. Nur so viel ist gewifs, dafs dabei, der Bequemlichkeit in vielen Fällen halber, die zu prüfenden Körper nicht mit den Nerven und Muskeln selbst, sondern mit verschiedenen Punkten feuchter Unterlagen der Nerven in Berührung gebracht wurden, wozu vornehmlich nasse Schwammstücke dienten (S. 95. 96). Fernere zahlreiche Anwendungen derselben Grundsätze siehe S. 76—79. 90 bis 95. 101. 109. 165 des Pfaff'schen Werkes. In Betreff seiner damaligen Theorie will ich nur bemerken, dafs er die Ursache der Oeffnungszuckung in der plötzlichen Wiederherstellung des natürlichen elektrischen Gleichgewichtes der Kette suchte, welches während der Dauer des Schlusses gestört sei, und dafs er die ungleichen Wirkungen je nach der Vertheilung der Metalle durch die verschiedene Kraft erklärte, mit der die sich ausbreitende Elektricität auf die Nerven in den Muskeln selbst und in dem Nervenstamme zu wirken vermöge (S. 362. 364).

In einer am 26. März 1795 der Akademie von Bologna mitgetheilten lateinischen Abhandlung Galvani's macht dieser darauf aufmerksam, dafs wenn man von beiden Nerven eines nach seiner Vorschrift zubereiteten Frosches, den einen mit Zinn oder Zink, den andern mit Gold oder Silber belege, beim Verbinden der ungleichartigen Metalle durch den Bogen die Zuckungen in der auf die erstgenannte Weise bewaffneten Gliedmafse stärker und ausdauernder seien, als in der andern. Derselbe Unterschied gebe sich kund, wenn man Nerv und Muskel auf die gewöhnliche Weise mit Metallbelegen versehe, je nachdem das positive oder das negative Metall am Nerven liege. [1]

Hier folgen endlich einige, von Philipp Michaelis unabhängig von Pfaff angestellte Versuche, in denen von zweien zugerichteten Fröschen, deren Schenkel sich berührten, und deren Nerven beziehlich mit Gold und Zink bewaffnet waren, beim Schliefsen zwischen den Metallen nur der letztere zuckte; hingegen zuckten beide, wenn die Nerven des einen auf dem Schenkel des andern ruhten und die Metalle sich zwischen den Nerven dieses und dem Schenkel des ersteren, das Zink am Nerven und das Gold an den Muskeln, befanden. Die Beziehung der

[1] Opere edite et inedite del ec. Galvani. Appendice al Rapporto, p. 66. — S. auch schon Supplemento al Trattato dell' uso ec. Ivi, p. 295, vom Jahre 1794. »Si »sono pur'esse« ... (le contrazioni) ... »eccitate alternando eziandio le arma»ture, cioè applicando la foglia d'ottone al nervo, e quella di stagno al muscolo, »ma d'ordinario sono state meno pronte ad insorgere e meno vigorose.«

Trennungszuckung, die er gleichwohl bei einer anderen Gelegenheit erkannt hatte, zur aufsteigenden Strömungsrichtung ist MICHAELIS entgangen. [1]

## (II) RITTER's Arbeiten über das Gesetz der Zuckungen.

RITTER's erste hier einschlagende, selbständig gemachte [2] Erfahrungen finden sich in den Nachträgen zum zweiten Bande von v. HUMBOLDT's Werke: »*Versuche über die gereizte Muskel- und Nerven-faser*« mitgetheilt. Er beobachtete die Trennungszuckung bei dem GALVANI'schen Versuch ohne Metalle und den Versuchen ohne Kettenverband, und entdeckte das Vorwiegen derselben bei der aufsteigenden Stromesrichtung. (A. a. O. S. 442. 443. *)

Ausgedehnte und durch zahlreiche schematische Abbildungen erläuterte Erörterungen über diese Erscheinung enthält sodann sein schon mehrerwähnter »*Beweis, daſs ein beständiger Galvanismus den Lebensprocess in dem Thierreich begleite,*« aus denen ich folgende Punkte hervorhebe.

Die gewöhnliche Art des Versuchs erstens, welche später häufig vorkommen wird, versinnliche ich durch Uebertragung der elften Figur von RITTER's erster Kupfertafel in unsere Fig. 16. Die Dreiecke stellen bekanntlich die Schenkel, die daran befindlichen Stiele die Nerven, die Stücke *Z* und *S* die ungleichartigen Metalle vor. Der Strom ist absteigend in dem mit dem positiven Metalle armirten Nerven, aufsteigend in dem andern. So genieſst man den Vortheil, bei einer Schliessung oder einer Oeffnung der Kette den Erfolg sogleich für beide Strömungsrichtungen übersehen zu können.

RITTER fand, daſs bei groſser Erregbarkeit kein Unterschied in der Stärke der Zuckungen obwalte; daſs hingegen bei sehr gesunkener endlich nur noch die Schlieſsungszuckung bei absteigendem Strome übrig bleibe. (A. a. O. S. 46. 47.) Auch Ketten aus einem metallischen und einem feuchten Leiter z. B. Chlorwasser, aufgelöster arseniger Säure, u. d. m. gaben Anlaſs zu derselben Wahrnehmung (S. 53). Auch hier findet sich der Gedanke ausgesprochen und theilweise durchgeführt, diese Eigenthümlichkeit zur Bestimmung der Strömungsrichtung oder desjenigen anzuwenden, was wir jetzt als solche bezeichnen würden (S. 65 ff.). Wie PFAFF, haben sich übrigens RITTER gleichfalls Unregelmäſsigkeiten der Art dargeboten, daſs er gerade das Umgekehrte

[1] GREN's Neues Journal der Physik. 1797. Bd. IV. S. 9 ff. (September 1796).

[2] Beweis, daſs ein beständiger Galvanismus u. s. w. S. 51. *

von dem wahrnahm, was nach dem aufgestellten Gesetze der Fall sein sollte [1] (S. 101). Was die Theorie anlangt, so geschieht der beträchtliche Fortschritt, dafs der Grund der Erscheinung nicht mehr in der Bewegungsweise der galvanischen oder elektrischen Flüssigkeit gesucht wird, sondern in einer wesentlichen Eigenschaft der organischen Gebilde selbst (S. 48).

Anwendungen dieser Grundsätze, wodurch aber die uns hier angehende Sache an und für sich nicht gefördert wird, finden sich ferner in Ritter's: »*Beweis dafs die Galvanische Action oder der Galvanismus auch in der Anorgischen Natur möglich und wirklich sei.*« [2] Beachtung verdient jedoch der Umstand, dafs Ritter hier dieselben Versuche an den blofsen Nerven anstellt, was, wie man sich erinnert, Pfaff mifsglückt war. (A. a. O. S. 126.) Der Erstbesitz dieses Erfolges gebührt indefs Volta.

Es wäre in der That wunderbar, wenn dieser Kreis von Erscheinungen Volta's Scharfblick gänzlich entgangen wäre. In seinem zweiten Briefe an Aldini (Como, Aprile 1798) hat er seine Beobachtungen darüber niedergelegt. [3] Zunächst versäumt er nicht jenen älteren Versuch mit der Kleist'schen Flasche damit in Zusammenhang zu bringen, was bereits oben von uns geschehen ist. Er findet sodann, dafs bei gehörig zugerichteten Fröschen die Zuckungen weit stärker sind, wenn das Zinn sich am oberen Theile der Ischiadnerven, das Silber, Messing oder Eisen aber an ihrem unteren Theile, oder den Muskeln befinden, als wenn die Vertheilung dieser Metalle die umgekehrte ist. Ist das Thier bereits sehr geschwächt, so wirkt der aufsteigende Strom gar nicht mehr, oder es erscheint eine Trennungszuckung. Von dieser giebt er allerdings eine seltsame Erklärung: »er stellt sich nämlich vor, »wie bei der Trennung des leitenden Kreises dem so eben noch existi»renden elektrischen Strom sich plötzlich ein Hindernifs entgegenstellt, »was ihn nöthigt, gegen dasselbe anzustofsen, sich zurückzuziehen, »und in der umgekehrten Richtung, einer zurückgeworfenen Welle »gleich sich zurückzustürzen, aus welchem Grunde, wo zuvor .... »der Strom sich in der nicht günstigen Richtung .... ergofs, er jetzt »im Augenblick seines Hindernisses und Anstofses, .... in der günsti»gen, und daher zur Hervorbringung von Contractionen geschickten »Richtung zurückfliefsen mufs.« [4] Schliefslich beschreibt Volta noch

[1] Vergl. Ritter's Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. S. 72.*

[2] Ebendas. Bd. I. 1800. St. I. S. 126. 193. 220.*

[3] Ritter's Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. S. 43. Anm.*

[4] Vergl. Collezione dell' Opere ec. t. II. p. II. Brief an Banks. p. 119; — Memoria sull' Identità ec. p. 219. Nota.* Dieselbe Ansicht findet sich noch in der

mehrere zierliche Arten, den Versuch mit einem und zweien Fröschen anzustellen. In der Uebereinstimmung der Erscheinungen, die der Strom der einfachen Kette und der Schlag der Kleist'schen Flasche hervorbringt, sieht er natürlich, und mit Recht, eine neue Bestätigung seiner Ansicht von der Einerleiheit von Elektricität und Galvanismus.

Eine hiehergehörige Erfahrung, wobei von zweien mit ihren Nerven verbundenen, mit ihren Muskeln beziehlich auf Silber und Blei ruhenden Schenkeln beim Schliefsen zwischen beiden Bewaffnungen mittelst eines Bogens aus einem beliebigen Metalle der auf Silber, beim Oeffnen der auf Blei liegende Schenkel zuckte, machte die Commission des National-Institutes, bestehend aus Coulomb, Fourcroy, Vauquelin, Hallé u. a., welche im Floréal und Prairial des Jahres V (Frühling 1797) experimentirte und deren in's Deutsche übersetzter Bericht Ritter's »*Beiträge*« eröffnet. [1]

Nicht einmal in Frankreich kommt somit Lehot der Erstbesitz dieser Thatsachen zu. Seine Arbeit ward dem National-Institute im Pluviose des Jahres IX (Januar und Februar 1801) vorgelesen. [2] Sie enthält nichts Neues, als dafs das Quecksilber mit in den Kreis der Versuche gezogen wird (Gilbert's *Annalen der Physik* a. a. O. S. 190) und dafs sich Lehot, wie später Jakobi in der Frage vom Schliessungsfunken, [3] zur sicheren Bewerkstelligung des Oeffnens und Schliessens einer Schraubenvorrichtung, nämlich einer in eine feine Spitze auslaufenden Schraubenspindel von Zink mit Silberanschlag bediente, wodurch allerdings der Verdacht auf wiederholtes Schliefsen beim Oeffnen fortfällt (S. 192). Bemerkenswerth ist die Art, wie Lehot die Oeffnungszuckung zu erklären sucht, da sie viel später noch mehrmals wiederkehren wird. Er glaubte, dafs sich die galvanische Flüssigkeit bei aufsteigendem Strome an dem Punkte des Nerven anhäufe, wo sie aus demselben in seine Bewaffnung auszutreten strebe; diese Anhäufung sollte, seiner Vorstellung nach, mit abnehmender Erregbarkeit zunehmen, und der Rückfluſs der solchergestalt gefangenen Portion sei es, der bei Unterbrechung des Stromes die Oeffnungszuckung bewirke,

1814 von Configliachi herausgegebenen, bereits oben S. 36 und S. 93 erwähnten Schrift: »L'Identità del fluido elettrico col cosi detto fluido galvanico ec.« (Pavia, 4°, p. 105. §. 80.*) ausgesprochen; es ist a. a. O. schon bemerkt worden, dafs dieselbe als der Ausdruck von Volta's damaligen Meinungen gelten kann.

[1] S. daselbst. Bd. I. 1800. St. I. S. 55. 56.*

[2] Annales de Chimie. An IX. t. XXXVIII. p. 42.* — Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. IX. S. 188.* — Reinhold's Geschichte des Galvanismus u. s. w. S. 104.*

[3] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1838. Bd. XLIV. S. 633.*

indem er die Nerven in absteigender Richtung treffe, welche der Hervorbringung der Muskelbewegung günstiger sei (S. 197).

In dieselbe Zeit fällt eine theilweise auf unsern Gegenstand Bezug habende Untersuchung von G. R. Treviranus, die ihn zu dem Ergebnifs führt, »dafs die Zuckungen der Muskeln bei der Schliefsung der »Kette heftiger sind, als bei der Oeffnung derselben, wenn das Zink »den Nerven und das Silber den Muskel bewaffnet, und schwächer bei »der Schliefsung derselben, wenn die Ordnung der Kettenglieder die »entgegengesetzte von jener ist.« Allein Treviranus weist zugleich nach, dafs bei diesen Versuchen viele noch ungedeutete Unregelmäfsigkeiten vorkommen, welche es unmöglich machen, ein wirklich durchgreifendes Gesetz für dieselben aufzustellen; die Ursache derselben sowohl als der Erscheinung in ihrer ursprünglichen Gestalt sucht der Verfasser der »*Biologie*« begreiflich in den verschiedenen Zuständen der thierischen Organe selbst. [1]

Nichtsdestoweniger sehen wir bald darauf Ritter in seinem Brief an Gilbert vom 1. Januar 1804 die galvanische Spannungsreihe der Metalle mit Hülfe der Zuckungen in der zuerst von Pfaff, dann von ihm selbst vorgeschlagenen und schon zum Theil erprobten Weise untersuchen. [2] Dies geschieht, seinem Rathe nach, am besten, indem man die unteren Extremitäten, und zwar sehr kleiner und junger Frösche, so zurichtet und anordnet, dafs die Schenkel einander berühren, während die zu prüfenden Metalle zwischen die sonst von einander isolirten Nerven gebracht werden. Es ist die bereits oben aus seinen Tafeln in unsere Fig. 16 übertragene Anordnung. Man untersucht zunächst mit Zink und Silber, ob in der That der Frosch tauglich sei, d. h. ob der mit Zink am Nerven bewaffnete Schenkel die Schliefsungs-, der andere die Oeffnungszuckung giebt. Ist dies der Fall, so kann man sicher sein, dafs, wenn bei Anwendung eines Metalles von bekannter und eines andern von unbekannter Stellung in der Spannungsreihe beim Schliefsen der Schenkel zuckt, der mit dem letzteren bewaffnet ist, dasselbe sich positiv gegen das erstere verhält; zuckt der andere Schenkel, so verhält es sich negativ. Beim Oeffnen der Kette gelten die entgegengesetzten Regeln. Die auf diesem Wege bestimmte Spannungsreihe kam mit der mittelst des Condensators und noch auf zwei andere Arten mit Hülfe des Frosches gewonnenen völlig überein; und es verdient bemerkt zu werden, dafs dies auch für die

[1] Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VIII. S. 44.

[2] Ebendas., 1804. Bd. XVI. S. 295. — Derselbe Aufsatz findet sich abgedruckt in Ritter's »physisch-chemischen Abhandlungen in chronologischer Folge.« Leipzig 1806. Bd. II. S. 219 ff.

von VOLTA, PFAFF und SEEBECK aufgestellten Condensatorreihen, wie auch für die später durch den Multiplicator ermittelten von POUILLET, POGGENDORFF, MARIANINI, HUMPHRY DAVY und Anderen der Fall ist, wie man aus der Tafel zu S. 106 von FECHNER's »*Lehrbuch*« zu ersehen vermag.

Inzwischen hatte RITTER, vorzüglich im Winter 1798, eine ausgedehnte Untersuchung über das Gesetz der Zuckungen unternommen, um endlich Herr jener mehrerwähnten Unregelmäfsigkeiten zu werden. Ein kurzer Abrifs seiner Ergebnisse findet sich bereits als Beilage zu dem letztangeführten Aufsatze mitgetheilt.[1] In gröfster Ausführlichkeit sind dieselben jedoch im dritten und vierten Stücke des zweiten Bandes seiner »*Beiträge*« unter dem Titel dargelegt: »*Darstellung des Gegensatzes zwischen Flexoren und Extensoren, und ihren Erregbarkeiten, wie ihn Galvanische Versuche geben, und Reduction desselben auf einen andern neuen überall verbreiteten Gegensatz.*« A. a. O. S. 70.* Mit vielen schematischen Abbildungen.

Wenn bereits die Ueberschrift dieser Abhandlung davon zeugt, dafs ihr Urheber unter dem verderblichen Einflusse der damals in Deutschland herrschenden Philosophie stand, so ist leider der Inhalt derselben wenig geeignet, das dadurch erweckte Mifstrauen wieder einzuschläfern. Man sieht RITTER, anstatt den Methoden zu huldigen, deren Erfolge er in VOLTA's Entdeckungen so sprechend vor Augen hatte, als willigen Adepten jener vermeintlich höheren Physik, nach Analogieen und Gegensätzen haschen, und statt in der mechanischen, in der idealistischen Construction der Erscheinungen ihr Verständnifs suchen.

RITTER glaubte entdeckt zu haben, dafs es zwei Erregbarkeiten gebe, eine »geringere, bedingte, endliche,« die der Beuger, und eine »beträchtlichere, unbedingte, unendliche,« die der Strecker. Gleich nach dem Tode, in dem dem unversehrten Leben ähnlichsten Zustande, waltet die Erregbarkeit der Beuger vor, die der Strecker ist ganz in den Hintergrund gedrängt. Je mehr die thierischen Glieder absterben, um so mehr tritt die Erregbarkeit der Beuger zurück, die der Strecker hervor. Es kommt eine Stufe, wo beide gleich sind, dann sinkt die der Beuger schnell, die der Strecker dauert, nach RITTER's Vorstellungsweise, ins Unendliche fort, so lange noch ein Rest von Structur im Organe vorhanden ist: mit einer Säule von beliebig vielen Lagen würde man einen Frosch in einem beliebigen Zustande der Verwesung noch zum Zucken

[1] Ebendas., S. 320 ff.; — 1805. Bd. XIX. S. 4 ff.* — Physisch-chemische Abhandlungen u. s. w. S. 246 ff.*

bringen können: die Zuckung würde aber eine Streckung sein! Die Erregbarkeit der Beuger entspreche dem negativen Pole, oder der aufsteigenden Strömungsrichtung, die der Strecker zeige das entgegengesetzte Verhalten, so dafs jede Art von Muskeln ausschliefslich auf den einen ihr zugehörigen Reiz antworte. Die bedingte Erregbarkeit der Beuger sei aber nur vermögend, auf eine gewisse Stromstärke zu antworten, sie sei von endlicher Capacität: wirke daher ein Strom auf einen Nerven, der zugleich Streckungs- und Beugungsfasern enthalte, so werfe er sich zuerst mit seiner ganzen Kraft auf die letzteren, und bringe eine ihrer Capacität entsprechende möglichst starke Erregung hervor; mit der übrigbleibenden Kraft nur wende er sich sodann an die Streckfasern.[1] Daraus entspringt, im Verein mit der nicht weiter gedeuteten Einerleiheit der Wirkung eines einbrechenden aufsteigenden und eines aufhörenden absteigenden Stromes, das in Rede stehende Gesetz der Zuckungen, wie sogleich erhellen wird.

Ritter unterscheidet nach dem Tode fünf oder besser sechs Stufen der Erregbarkeit, welche in allmäligen Uebergängen aufeinander folgen und den Gang der Erscheinungen bestimmen. Ich ziehe für die Mittheilung derselben vor, anstatt Ritter's schematische Abbildungen wiederzugeben, seine Angaben in eine tabellarische Uebersicht zu bringen, denen ähnlich die Ritter selbst anderwärts von entsprechenden Erfahrungen auf subjectivem Gebiet, und auch Nobili von seinen hiehergehörigen Ergebnissen aufgestellt hat [S. unten (v, vi)], wodurch uns der Vergleich beider in der Folge erleichtert werden wird.

[1] Hier ist augenscheinlich ein Fehler in der Construction, den auch bereits Pfaff aufgedeckt hat (Pfaff, Scherl und Rudolphi, Nordisches Archiv für Naturkunde, Arzneywissenschaft und Chirurgie. Bd. IV. St. 3. No. XII. 1805. S. 16*), da die Vertheilung des Stromes auf Streck- und Beugefasern nach der Capacität der letzteren gar keinen Sinn hat, nachdem bereits bevorwortet worden ist, dafs auf jede Faserklasse durchaus nur eine Strömungsrichtung vermögend sei.

| Ritter's Gesetz der Zuckungen.[1] (1798—1805). | | Absteigender Strom. | Aufsteigender Strom. |
|---|---|---|---|
| I. | Schliefsung. | Ruhe. | Beuger zucken. |
| | Oeffnung. | Beuger zucken. | Ruhe. |
| II. | Schliefsung. | Strecker zucken schwach. | Beuger zucken. |
| | Oeffnung. | Beuger zucken. | Ruhe oder Strecker zucken schwach. |
| III. | Schliefsung. | Strecker zucken. | Beuger zucken. |
| | Oeffnung. | Beuger zucken. | Strecker zucken. |
| IV. | Schliefsung. | Strecker zucken. | Beuger zucken schwach. |
| | Oeffnung. | Beuger zucken schwach. | Strecker zucken. |
| V. | Schliefsung. | Strecker zucken. | Ruhe. |
| | Oeffnung. | Ruhe. | Strecker zucken. |
| VI. | Schliefsung. | Strecker zucken schwach. | Ruhe. |
| | Oeffnung. | Ruhe. | Ruhe. |

Man sieht, das Gelungene dieses Schema's besteht, in dem Sinne der damaligen Zeit, darin, dafs die Phänomene, aus ihrer scheinbar gesetzlosen Ungebundenheit, rein auf das Bild eines vollendeten Gegensatzes zurückgeführt sind. In der That, betrachtet man den dritten Zustand, wo völliges Gleichgewicht nach allen Seiten hin stattfindet, als den mittleren, wie Ritter pflegte, so reihen sich nach dem Leben und nach dem Tode hin die einander entsprechenden Stufen II und IV,

[1] Nach der Abhandlung in den Beiträgen a. a. O. S. 73—75. 96. 97. In Gilbert's Annalen a. a. O. S. 321. 322. ist die Ordnung der Erscheinungen etwas verschieden angegeben.

I und V, in gefälliger Symmetrie an, weshalb auch Ritter des sechsten Zustandes, welcher unbequemerweise diese Ordnung stören kommt, nur im Vorübergehen gedacht haben mag. Der Zustand V ist derjenige, der zur Bestimmung der Strömungsrichtungen angewandt wird. Früher als der normale angesehen, findet er sich jetzt an die Grenze der schwindenden Erregbarkeit versetzt. Die sonst als räthselhafte Ausnahmen angesprochenen Fälle I und II haben dagegen seine Stelle eingenommen, und der Sprung zwischen beiden ist durch geeignete, neu beobachtete Uebergangsformen vermittelt.

Nicht jeder Frosch durchläuft, nach Ritter, diese ganze Stufenleiter der Erregbarkeit. Vielmehr könne man ihn, je nach seinen Zuständen während des Lebens, seiner Todesart, der Behandlung nach dem Tode u. s. f. bei den ersten Versuchen sogleich auf einer der tieferen Sprossen derselben antreffen. Nie sehe man einen Froschschenkel, auch nur theilweise, die umgekehrte Reihefolge der Erscheinungen durchmachen. Im Winter und vor der Zeit der Begattung fände man fast alle Frösche auf der Stufe I; mit der Begattung sinken sie plötzlich auf III, zum wenigsten auf II herab, den Sommer über erhalten sie sich theils auf III, theils kommen sie auch auf IV herab, selten bis V. Gegen den Herbst (was mit Joh. Müller's Beobachtungen stimmt) geht die Erregbarkeit wieder von III nach II, von IV nach III oder II, von V nach IV, III oder II zurück; schon ein kalter Tag kann sie sogleich um etwas, und zuweilen auch um viel zurückbringen; und kurz vor dem wirklichen Winter sind und halten sie sich gemeinhin wieder ganz in der Nähe des Zustandes, den ihnen dieser selbst während ihres Schlafes geben soll, in der von I. Dies ist für Frösche mittlerer Gröfse und Alters, wie man sie am gewöhnlichsten erhält, ohngefähr der Gang. Sehr junge und ganz alte beschreiben ebenfalls den ihrigen. Bei beiden scheint er selten, am wenigsten bei letzteren, bis nach I zurückzugehen, sondern mehr sich in den Grenzen von III, höchstens II bis V zu erhalten. Daher wohl die oben gegebene Regel, sich junger Frösche zur Bestimmung von Strömungsrichtungen zu bedienen. Je höher man in der Thierreihe hinaufsteige, um so tiefere Stufen aus der Reihe der Erregbarkeiten böten sich dar. Die Stufe I werde nur bei Amphibien, bei Fischen höchstens der Zustand III angetroffen. Noch so schnell zugerichtete Säugthiere zeigten höchstens IV, Vögel niemals mehr wie V, ebenso abgesetzte Gliedmafsen von Menschen. [1] Auch an ganzen theils unversehrten,

[1] Gilbert's Annalen der Physik. A. a. O. S. 323. 334. * — Beiträge u. s. w. A. a. O. S. 80. *

theils wenigstens nicht mit freigelegten Nerven zugerichteten Thieren sucht Ritter, meist durch dahinzielende Deutung der Beobachtungen Anderer, jedoch, wie er selber gesteht, mit geringem Erfolge, sein Gesetz nachzuweisen. [1]

Je stärker der Strom sei, eine um so tiefere Nummer der obigen Stufenleiter werde beobachtet. Diese auffallende Angabe beruht darauf, dafs durch die Anwendung stärkerer Ströme die Erregbarkeit so schnell deprimirt werde, dafs dadurch die Vergröfserung des andern Factors des Productes Erregung, der Stromstärke selbst nämlich, [2] übercompensirt erscheinen könne. Bei stärkeren einfachen Ketten ist deshalb die Depression noch nicht dauernd vorhanden. Hätte man z. B. mit Zink-Zinn den Zustand III gehabt, so würde Zink-Reifsblei den Zustand IV, ja vielleicht sogar schon den V geben, während eine schwächere, z. B. Eisen-Kupferkette, statt III, die Stufe II, ja gar I gezeigt haben würde. Daher vor einer Säule aus 50 bis 100 Zinkkupferplattenpaaren kein einziger, selbst der allererregbarste Frosch, die Erscheinungen I, nicht einmal die II, sondern höchstens die III, weit gewöhnlicher nur die IV und V gebe, wenn er gleich den Augenblick vorher die ersteren mit einer einfachen Kette aus Kupfer und Zink, ja Zink und Reifsblei, aufs Beste gezeigt habe (*Annalen u. s. w.* S. 327). Aus eben dem Grunde empfiehlt Ritter, zugerichtete Frösche, die man schnell und sicher behufs Bestimmungen der Strömungsrichtung auf die Stufe V versetzt zu haben wünsche, dem Strome einer Voltaïschen Säule preiszugeben. (Ebendas., Anm.)

Endlich ist noch Folgendes zu erwähnen. Valli hatte bereits gefunden, dafs, wenn die Zuckungen, bei einer bestimmten Anordnung der einfachen Kette, dem Verschwinden nahe sind, man sie dadurch wieder zu beleben im Stande sei, dafs man mit der Bewaffnung des Nerven an demselben hinunter, nach dem Muskel zu rücke. [3] Das Leben der Nerven sei also ihrer Ausbreitung tiefer innewohnend als ihrem Ursprunge. Dieselbe Erscheinung beobachtete Pfaff, [4] schrieb sie jedoch der ungleichmäfsigen Austrocknung der Nerven zu. Ritter, der sie bald darauf gleichfalls bestätigte, nahm die Valli'sche Deutung

[1] Beiträge u. s. w. A. a. O. S. 145 ff.

[2] Von diesen »Modificationen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten« wird unten noch ausführlich die Rede sein müssen. S. (VI) B. a.

[3] Reinhold Geschichte des Galvanismus u. s. w. S. 38. 40. Fünfter und achter Brief; 1792.

[4] Gren's Journal der Physik. 1794. Bd. VIII. S. 214; — Ueber thierische Elektricität u. s. w. S. 23. 24. 25. 31. — Gehler's physikalisches Wörterbuch, Bd. IV. Abth. II. S. 714

wieder auf, [1] und ihm ist man darin seither immer unbedingt gefolgt, ohne jedoch, meines Wissens, die Betrachtung anzustellen, die zuerst nöthig gewesen wäre, ehe man sich so entschieden in diesem Sinne hätte aussprechen dürfen. In der That blieb hier aufser der Theorie des Austrocknens, von der ich nicht reden will und die leicht thatsächlich zu prüfen war, eine dritte Erklärungsweise offen. Die Erscheinungen des Valli'schen Gesetzes lassen sich ebensowohl begreifen, wenn man sich vorstellt, dafs mit abnehmender Leistungsfähigkeit des Nerven auf allen Punkten, die Länge desselben, auf welche hin die Erregung noch Zuckung hervorzubringen vermag, gleichfalls abnimmt, so dafs man dem Punkte, den sie noch wirksam erreichen soll, näher rücken mufs, um noch dergleichen wahrzunehmen. Indessen gewinnt jene ursprüngliche Deutung eine mächtige Stütze an dem aufser allem Zweifel stehenden Nysten'schen Gesetze, nach welchem die Todtenstarre, der Tod der Muskeln, [2] von den dem Gehirne näher gelegenen Theilen des Thieres nach den entfernteren zu fortschreitet. [3] Das Nysten'sche Gesetz, im Verein mit dem Valli'schen, lehrt die Reihefolge der Augenblicke des Absterbens der verschiedenen Muskeln und der verschiedenen Stellen des gesammten Nervensystemes kennen. Der Tod kriecht die Hirnrückenmarksaxe entlang von oben nach unten zu fort, und nach Valli und Ritter ebenso in jedem einzelnen Nerven von seinem Ursprunge nach seiner Ausbreitung hin. Wo auf diese Weise das Absterben die äufserste Ausbreitung der Nervenröhren im Muskelgewebe erreicht hat, hört der Muskel auf, der Zusammenziehung fähig zu sein, und wird todtenstarr.

Auf diese Weise war ein sehr klares Bild von dem Vorgange beim Absterben gewonnen; aber neuere Versuche von Matteucci treten störend dazwischen. Dieser hat den Gedanken gefafst, zu untersuchen, wie sich das Valli'sche Gesetz für die elektrischen Empfindungen, statt für die Zuckungen stellen würde. Er nagelt einen Frosch mit seinen vier Pfoten den Bauch gegen ein Brett auf, und entfernt auf der einen Seite alle Theile des Oberschenkels bis auf den Nervenstamm. Auf diesen läfst er den aufsteigenden Strom einer fünfzehnpaarigen Trogvorrichtung wirken. Im Augenblick des Schliefsens schreit der Frosch laut auf, welches auch der Punkt des Nerven sei, den die

[1] Beweis, dafs ein beständiger Galvanismus u. s. w. S. 127.*

[2] S. unten, 3. Abschn., Kap. V. §. 1.

[3] Recherches de Physiologie et de Chimie pathologiques pour faire suite à celles de Bichat sur la Vie et sur la Mort. Paris 1811. p. 386. 387; 393 (an Fischen).* — Vergl. übrigens hier p. 38 eine jedoch keineswegs einspruchsfreie Bewährung des Valli'schen Gesetzes mittelst Reizung auf mechanischem Wege.

beiden um 3—4$^{mm}$ auseinandergehaltenen Enden der Kette berühren. Nach 5′ jedoch findet sich bereits, dafs der Frosch minder stark schreit, wenn die Enden nahe der Kniekehle, als wenn sie nahe dem Rückenmarke angelegt werden. Nach abermals 5′ schreit der Frosch in dem ersten Falle gar nicht mehr, in dem zweiten nach wie vor. Bei Anwendung des absteigenden Stromes findet Matteucci das umgekehrte Gesetz für die dann erfolgenden Zuckungen gültig. Er zieht daraus den Schlufs: »La portion du nerf qui, lors de l'introduction du cou»rant direct, excite des contractions, s'éloigne d'autant plus de son »origine que l'animal s'affaiblit; et inversement la portion du nerf qui, »lors de l'introduction du courant inverse, produit une sensation dou»loureuse, s'approche d'autant plus de l'origine du nerf que l'animal »s'affaiblit.« [1] Von der hier ins Spiel kommenden besonderen Beziehung der aufsteigenden Strömungsrichtung zur Erregung von Empfindungen wird unten [S. (v)] die Rede sein. Im *Essai etc.* p. 27 findet sich derselbe Versuch, jedoch mit der Abänderung mitgetheilt, dafs die beiden Strömungsrichtungen jede auf einen bestimmten Ischiadnerven des Frosches angewendet werden. Vergl. *Traité etc.* p. 205, wo indefs nichts Neues gegeben ist. Matteucci berichtet übrigens, dafs auch mit dem Froschstrome selbst die Wahrnehmung des fraglichen Gesetzes glücke: »Quand les contractions propres ont commencé à disparaître »on peut l'obtenir encore, en découvrant une portion de nerfs, qui est »cachée dans le muscle, et en touchant cette portion qu'on vient de »découvrir avec la jambe.« [2]

Wie nun Matteucci's Gesetz des von der Ausbreitung nach dem Ursprunge erfolgenden Absterbens der Empfindungsnerven im Gegensatze zu dem den umgekehrten Weg befolgenden der Bewegungsnerven mit dem Nysten'schen Gesetze in Einklang zu bringen sei, ist nicht leicht zu sagen. Es ist nicht leicht, sich vorzustellen, was eine der daraus hervorgehenden Folgerungen sein würde, dafs, während im Gehirn und Rückenmark die der Bewegung vorstehenden Theile bereits der Fäulnifs verfallen sind, die zur Empfindung bestimmten noch leistungsfähig seien, während umgekehrt die Ausbreitung dieser gleichfalls schon zu Grunde gegangen wäre. Ich mufs gestehen, dafs, a priori, das Nysten'sche Gesetz und das Matteucci's nebeneinander nicht bestehen zu können scheinen; und ich bin geneigt zu glauben, dafs dieser Forscher, was,

[1] Bibliothèque universelle etc. Décembre 1838. Nouvelle Série. t. XVIII. p. 361.*

[2] Bibliothèque universelle etc. ibid.; — Essai etc. p. 80. 81;* — Traité etc. p. 88.*

bei der ungemeinen Schwierigkeit des Versuchs, wohl verzeihlich sein würde, in eine Täuschung verfallen ist.

Wir kehren zu RITTER zurück. Dieser stellt jetzt, mit Bezug auf die eben erörterten Thatsachen, den Satz hin, dafs ein und derselbe Nerv, in den verschiedenen Punkten seiner Länge, vom Hirnende nach dem Muskel zu verschiedene Stufen abnehmender Erregbarkeit, ja unter Umständen alle fünf auf einmal, aufzuweisen vermöge.[1] In dem Aufsatze der »*Beiträge*« führt er diesen Satz noch vollends dahin aus, dafs der Erfolg an den Muskeln stets gewissermafsen die Resultirende aus den verschiedenen Schattirungen der Erregbarkeit sei, welche das in der Kette begriffene Nervenstück auf seinen verschiedenen Punkten besitze. »Nur das möchte ich noch nicht behaupten,« sagt er, »dafs das Mittel, welches ein Präparat in Ketten grofsen Ner»veninhalts ... zeigt, ganz genau das arithmetische sei.« (!A. a. O. S. 89).

### (III) Beurtheilnng von RITTER's Gesetz der Zuckungen.

Dies ist das Wesentliche von RITTER's Lehre. Es müssen an derselben mit Sorgfalt zweierlei Punkte auseinandergehalten werden; einmal seine Aussagen betreffend den Gegensatz zwischen Streckern und Beugern, dann aber die anlangend die Umkehr des Gesetzes der Zuckungen, und die Stellung der Fälle, welche das umgekehrte Gesetz zeigen, auf der höchsten Sprosse der Stufenleiter der Erregbarkeiten. Man sieht die Möglichkeit ein, dafs die eine dieser Lehren richtig wäre, ohne dafs darum die andere es zu sein brauchte; und in der That hat auch RITTER selbst die letztere derselben sowohl anfänglich in dem Aufsatze der »*Annalen*« als auch später in der Abhandlung über den angeblichen Gegensatz zwischen Streckern und Beugern in den »*Bei»trägen*« ganz unabhängig von demselben vorgetragen, indem er erst später die stattfindenden stärkeren und schwächeren Zuckungen als solche der einen oder der andern Muskelgruppe näher bestimmt. Wir sind also berechtigt, diese Behauptungen gesondert zu betrachten, und je nach der Glaubwürdigkeit, die uns jener Gegensatz zu verdienen scheint, in der obigen Tabelle entweder die Bezeichnungen als Zuckungen von Streckern und Beugern allein stehen zu lassen, oder an der Stelle derselben, wie RITTER selbst zuerst, Zuckung im Allgemeinen zu lesen.

[1] GILBERT's Annalen der Physik. A. a. O. S. 324. * — Beiträge u. s. w. A. a. O. S. 84 ff. *

Was nun den Gegensatz zwischen den Erregbarkeiten beider Muskelgruppen betrifft, so kann man wohl dreist, und ohne Gefahr eines ähnlichen Fehlers, wie er Ritter dadurch vorgeworfen wird, behaupten, dafs hier ein schwerer Fehltritt begangen sei; dafs Ritter, einem vorgefafsten System zu Liebe in Selbsttäuschung begriffen, dem Thatbestand einen widernatürlichen Zwang angethan habe.

Der Mühe, die durch Jenes ungezügelte Einbildungskraft in die Irre geführte Untersuchung in das rechte Gleis zurückzulenken, unterzog sich damals Pfaff in einer lichtvollen Abhandlung im *Nordischen Archiv für Naturkunde, Arzneiwissenschaft und Chirurgie. Herausgegeben von* Pfaff, Scheel *und* Rudolphi. *1805. Bd. IV. Stück 3. No. XII. S. 3.* » *Ueber und gegen den von* Ritter .... *aufgestellten* » *Gegensatz zwischen Flexoren und Extensoren.*« Er ist später nochmals, in Gehler's *physikalischem Wörterbuche Bd. IV. Abth. II. 1828. S. 720*, auf diesen Gegenstand zurückgekommen und hat die Nichtigkeit eines solchen Gegensatzes aus Gründen der Theorie sowohl als der Erfahrung überzeugend dargethan. Ich gebe hier seine Betrachtungen wieder, indem ich mir erlaube, sie in einigen Punkten gemäfs unserer seitdem vorgeschrittenen physiologischen Kenntnifs zu ergänzen.

Von vorn herein läfst sich ungefähr Folgendes dagegen sagen. Beuger und Strecker unterscheiden sich von einander in nichts Anderem, als in der Art ihrer Befestigung am Knochengerüst, was augenscheinlich etwas dem Muskel selbst ganz Fremdes und Aeufserliches, vollends also für seine Nerven Gleichgültiges ist. Es konnte daher nichts Widersinnigeres geben, als hier einen Gegensatz in einer Spaltung begründet wähnen, welche die geringste physiologische Anschauung zu völliger Einheit aufzuheben vermochte. Es ist, als ob man eine Untersuchung über Verschiedenheiten in der Schwerkraft anstellen wollte, je nachdem sie an dem einen oder dem anderen Arme eines Wagebalkens wirkt. Eine grofse Anzahl von Muskeln sind Strecker und Beuger zugleich, indem sie über zwei Gelenke weggehen, das eine strecken und das andere beugen; [1] noch andere lassen gar keine Deutung in diesem Sinne zu. Ich führe dies nicht an, um daran die Frage zu knüpfen, welche Ritter'sche Art der Erregbarkeit nun wohl dergleichen Muskeln besitzen würden, da vielmehr diese alsdann den Eintheilungsgrund für dieselben abgeben könnte, sondern um dadurch die Willkürlichkeit und die schlechte physiologische Grundlage jener Ansicht in helleres Licht treten zu lassen.

[1] Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge. Eine anatomisch-physiologische Untersuchung von den Brüdern Wilhelm Weber und Eduard Weber. Göttingen 1836. S. 218.

Der einzige Unterschied, der zwischen Beugern und Streckern wirklich herrscht, ist der, dafs allerdings die ersteren früher zu antworten aufhören als die anderen und durch die Todtenstarre zuerst der Fäulnifs überliefert werden. Allein dies kann keinen Grund zu einer solchen innerlichen Entgegensetzung von Streckern und Beugern abgeben, da, dem ebenerwähnten Nysten'schen Gesetze nach, auch zwischen den Streckern selbst ähnliche Unterschiede stattfinden. Der grofse Unterschenkelstrecker am Oberschenkel z. B. hört viel früher als der grofse Wadenmuskel auf, sich zusammenzuziehen und wird viel früher todtenstarr. Auch hier also hätte Ritter mit gleichem Rechte einen vollendeten Gegensatz erdichten können, wenn ihm diese so auffallende Beobachtung, die aber freilich weniger seinem System entsprach, nicht entgangen wäre. Auf die Frage aber, weshalb die Beuger früher als die in gleicher Höhe gelegenen Strecker absterben, läfst sich zunächst nur mit der allenfalls einen Wink zu ihrer dereinstigen Lösung enthaltenden Wahrnehmung antworten, dafs die ersteren erfahrungsmäfsig mit höheren Punkten des Rückenmarkes in Verkehr zu stehen scheinen als die letzteren. Engelhardt fand, dafs wenn man enthaupteten Fröschen das Rückenmark von oben herab langsam vorschreitend zerstört, man bis zur Hälfte des vierten Wirbels nur Krämpfe der Beuger der Bauchglieder erfolgen sieht. [1] Später erscheinen Streckungen, wobei Engelhardt jedoch in die irrige Vorstellung verfällt, dafs sich jetzt nur Strecker zusammenziehen. Das Ergebnifs gleich starker Erregung von Streckern und Beugern ist nämlich, für gewöhnlich (S. unten), stets Streckung, weil die ersteren an und für sich die Oberhand haben. E. Harless, der jenes Verhalten bestätigt fand, [2] hat hierüber einen entscheidenden Versuch: »Bei einem decapitirten »Frosche wurden am linken Fufs alle Streckmuskeln, am rechten alle »Beugemuskeln durchgeschnitten; wurde nun wie ...« (oben, mit Abtragung des Rückenmarkes nach dem unteren Ende hin,) »... verfahren, »so erfolgte bis zum fünften Wirbel bei jedem Schnitte starke Beugung »des linken, gelindes Strecken des rechten Fufses; vom fünften bis »letzten Wirbel erfolgte starke Streckung des rechten und starke Beu»gung des linken Fufses.« [3] Ich kann Engelhardt's Bemerkung übrigens aus eigener Erfahrung bekräftigen, die jedoch nur beiläufig in etwas abgeänderter Weise gewonnen wurde. Gesättigte Kochsalzlösung bringt, wenn sie den Querschnitt des Rückenmarks trifft, die heftigsten

[1] Müller's Archiv für Anatomie u. s. w. 1841. S. 206.

[2] Ebendas., 1846. S. 74.

[3] A. a. O. S. 80. 81. Exp. VIII. IX.

Zusammenziehungen hervor. Je nach der Höhe nun, in der der Querschnitt angelegt ist, sind dies bald mehr Beugungen, bald mehr Streckungen der unteren Gliedmafsen; die ersteren jedoch immer mit weniger entschieden tetanischem Charakter als die letzteren, mehr klonisch nämlich, weil die abwechselnd stärkere und schwächere Zusammenziehung der einen Muskelgruppe sich als Bewegung des Gliedes kund geben kann, während, wenn beide Gruppen in gleich grofser Thätigkeit sind, das Uebergewicht stets auf Seite der Strecker bleibt und so Tetanus beobachtet wird, wenn auch die Stärke der Zusammenziehung schwankt. Richtig ist demnach wohl an der Ritter'schen Lehre unstreitig, dafs an der Grenze der entschwindenden Erregbarkeit es nur noch Strecker sind, welche zucken; im höchsten Grade zweifelhaft aber wird es hienach, dafs zu Anfang das umgekehrte Verhältnifs stattfinde, sondern allem Anschein nach ist hier gemeinsame Zuckung beider Muskelgruppen, und somit, in Betracht des Uebergewichts der Strecker, Streckung der thierischen Glieder zu erwarten.

Je schwerer indefs diese, zwar der Theorie entnommenen, darum jedoch nicht minder triftigen Gründe ins Gewicht fallen, um so mehr fühlt man sich gedrungen, eigenen Erfahrungen in diesem Punkte nachzugehen, um wenigstens zu der Einsicht zu gelangen, wie Ritter wohl zu einem solchen Irrwege sich habe verlocken lassen können.

Was zuerst Pfaff's Versuche betrifft, deren er, die Ritter'schen Ergebnisse im Auge, eine grofse Anzahl eigends in der Absicht einer Prüfung derselben angestellt hat, so entsprechen sie in der That so wenig den von Jenem angekündigten Erfolgen, dafs sie nicht einmal für den Zweck des gesuchten Verständnisses einen Anknüpfungspunkt darbieten. Nie sah er, beim ersten Schliefsen der Kette in beliebiger Richtung, wie erregbar auch die thierischen Glieder waren, den Fall eintreten, der nothwendigerweise hätte beobachtet werden müssen, wenn sich, Ritter's Angaben gemäfs, anfänglich nur Beuger zusammenzögen, d. h. Oberschenkel, Unterschenkel und Fufs sich einander dergestalt nähern, dafs sie möglichst kleine Winkel mit einander bildeten. Stets war im Gegentheil eine heftige Streckung das Ergebnifs der Reizung. Allerdings kommen Fälle vor, und hier waltet eine Dunkelheit ob, wo Oeffnungs- und Schliefsungszuckung eine Verschiedenheit nicht nur der absoluten, sondern scheinbar auch der relativen Stärke der Zusammenziehung in verschiedenen Muskelgruppen nach zeigten, so dafs das Uebergewicht bald auf der einen, bald auf der anderen Seite zu sein schien. Man sieht nämlich alsdann die eine Zuckung den Gliedmafsen eine geringe, gleichsam wälzende Ortsveränderung ertheilen, welche die

andere wieder aufhebt. [1] Ferner kann man, nach Pfaff, wenn Ketten längere Zeit geschlossen geblieben sind, unter Umständen wirklich heftigen Tetanus der Beuger allein beobachten. [2] Wie dem auch sei, es ist gewifs, dafs dabei wenigstens kein bestimmter Zusammenhang zwischen der Strömungsrichtung und dem Umstande stattfand, dafs es gerade Beuger waren, welche zuckten, und dafs demnach die Art, wie Ritter solche Schwierigkeiten hinwegzuräumen bestrebt ist, der Wirklichkeit nicht zu entsprechen scheint.

Ableugnen von Thatsachen auf einem Gebiete, wo eine so grofse Unbeständigkeit der Erscheinungen herrscht, wie auf dem der Zuckungen, hat immer sein Mifsliches. »Ich wiederhole es,« sagt v. Humboldt von einem ähnlichen Falle, »dieses Ausbleiben, diese negativen »Versuche, entkräften nie, was rein und sicher beobachtet worden »ist.« [3] So sehr dies einleuchtet, so findet es doch deshalb weniger seine Anwendung auf die Ritter'schen Behauptungen, wegen der allgemeinen Art, in der dieser Forscher sie hingestellt hat. An keiner Stelle geht er näher in die Einzelheiten seiner Beobachtungen ein und führt uns z. B. das Bild des gänzlich in N-form geknickten Schenkels vor; an keiner Stelle legt er Rechenschaft von dem Verfahren ab, dessen er sich bediente, um zu ermitteln, dafs es nur Beuger und nicht auch Strecker waren, welche zuckten, oder umgekehrt. Und man wird irre an seiner sonst so grofsen Tüchtigkeit und wenig geneigt, trotz dieser Mängel seinen Versicherungen Gehör zu schenken, wenn man liest: »Hatte ich Organe, wo Flexoren wie Extensoren zuckten, so »brachte ich es durch schnelles Ausschneiden der vorzüglichsten einen »oder anderen dahin, nun blos Flexoren oder blos Extensoren zucken »zu sehen.« [4] Da in diesem Falle die eine Muskelgruppe die Oberhand nur durch künstliche Schwächung der anderen gewann, deren Ueberreste gleichwohl noch wirksam zu sein fortfuhren, so scheint es fast, als sei für Ritter Beugung und Streckung gleichbedeutend mit »nur »Flexoren« und »nur Extensoren zucken sehen« gewesen!

Unter diesen Umständen ist es gewifs von Wichtigkeit, dafs kein anderer Forscher, weder unter Ritter's unmittelbaren Mitarbeitern, noch unter seinen Nachfolgern auf dem Gebiete der Reizversuche, unter welchen Letzteren doch auch Namen wie P. Erman's und Nobili's glänzen, auf seine Gedanken eingegangen oder aufs Neue selbständig auf sie ge-

[1] Nordisches Archiv u. s. w. A. a. O. S. 19. 20. 24. 28. 29.

[2] Gehler's physikalisches Wörterbuch a. a. O. S. 723.

[3] Versuche u. s. w. Bd. II. S. 173.

[4] Beiträge u. s. w. A. a. O. S. 94.

führt worden ist. Es bliebe sonach nur die Frage zu erledigen übrig, wie Ritter selbst seinerseits auf dieselben mag gebracht worden sein.

Einen Anhaltspunkt zu ihrer Beantwortung gewähren möglicherweise die folgenden Bemerkungen. Man findet, dafs in der That in den meisten Fällen, trotz des gemeinschaftlichen Zuckens beider Muskelgruppen und des Ueberwiegens der Strecker, das Endergebnifs der Zuckung ein gewisser Grad von Beugung ist. Alle Zuckung an frischen Schenkeln scheint schliefslich darauf hinauszugehen, die Glieder in eine gewisse, halbgebogene Lage zu versetzen, in der Femur und Tibia einen Winkel von ungefähr 120 — 130° mit einander machen. Befinden sie sich einmal darin, so bringt die Zuckung weiter keine Ortsveränderung hervor; ist hingegen das Bein vor der Zuckung möglichst gerade ausgestreckt worden, so wird es durch dieselbe in jene Lage gebeugt; war es im Gegentheil N-förmig möglichst weit zusammengeknickt, so gelingt es ihm, bei schwächeren Zuckungen, manchmal nicht, mit einemmale seine halbgebogene Lage zu erlangen, unfehlbar ist dies jedoch das Werk der nächstfolgenden Stöfse. Bei stärkeren Zuckungen giebt sich in einer heftigen Schnellung, welche das ganze Präparat weit von der Tischplatte emporzuschleudern vermag, die gewaltige Wirkung von Seiten der Strecker deutlich kund; nichtsdestoweniger ist das Ende immer wieder die bezeichnete halbgebogene Lage. Dasselbe ist der Fall, wenn die Muskeln durch fortgesetzte Reizung, Schleifen, Reiben der ungleichartigen Metalle aneinander u. d. m. in tetanusartige Zusammenziehung versetzt werden. Hier liegt das Uebergewicht der Strecker klar vor Augen, und doch beugt sich zuletzt der Schenkel in der beschriebenen Weise. Aber auch in dem Fall des geradlinig ausgestreckten Schenkels, wo Beugung scheinbar der einzige Erfolg der Reizung ist, zucken die Strecker kräftig mit, wie man sich leicht durchs Gefühl überzeugen kann. Geht die Zuckung von der halbgebogenen Lage aus, so versteht sich ihre Mitwirkung von selbst, da sonst Beugung eintreten müfste.

Bei dem Bestreben, sich von diesen Thatsachen Rechenschaft abzulegen, verfällt man zuerst auf die Vorstellung, dafs die Zuckung hier nicht anders zur Bewirkung der halbgebogenen Lage beitrage, als indem sie den mechanischen Zwang der Adhäsion an die Unterlage augenblicklich löse, der die Glieder verhinderte, dieselbe anzunehmen; da die Erfahrung lehrt, dafs eben eine solche Lage dem Gleichgewicht der antagonistischen Muskelgruppen im Zustande der Ruhe oder während ihres beständigen unmerklichen Spieles angemessen sei. »Diese halb»gebogene Lage der Knochen in der Ruhe«, sagen die Gebrüder Weber, »hängt nicht von der Spannkraft, sondern von der natürlichen

»Länge der Streck- und Beugemuskeln ab, welche sie in der Ruhe »haben, und die sich so verhält, dafs die Gelenke eine halbgebogene, »von der Lage der gröfsten Streckung und Beugung ungefähr gleich »entfernte Lage dabei haben müssen.« [1] Die augenblickliche Befreiung der Glieder von der Unterlage aber rührt her von dem durch die schnelle Zunahme der Muskeln an Querschnitt bewirkten Emporschnellen. Demnach würde der Erfolg der Zusammenziehung also zwar stets eine Streckung sein, im Augenblicke jedoch, wo dieselbe beendet ist, findet sich der Schenkel schwebend in einer Lage, wo die Gruppe der Beuger mehr gedehnt ist, und daher eine gröfsere Spannung besitzt, als die der Strecker. Der Schenkel giebt daher, während seines noch so kurzen Falles, ihrer Wirkung nach und kommt gebeugt nieder, etwa wie eine Gerte, die man gebogen fallen läfst, gestreckt zur Erde kommt. In dem Fall der vorgehend N-förmig geknickten Lage bei schwachen Zuckungen, welche die Ruhelage erst allmälig herbeizuführen vermögen, summirt sich die Wirkung der gedehnten Strecker zu ihrem Uebergewicht im Augenblick der Zuckung selbst.

Wollte man, was allerdings zu bedenken ist, diese Ursache nicht für zureichend halten, so ist noch eine andere Deutung bei der Hand, deren Mitwirkung überhaupt schwer zu leugnen sein dürfte. Nach der oben S. 259 eingeführten Vorstellungsweise, dergemäfs man sich die Muskelzusammenziehung zu denken hat als den Erfolg der Summation von Geschwindigkeiten, welche in jedem Zeittheilchen den Massetheilchen des Muskels ertheilt werden, ist es klar, dafs, da die Masse des Muskels stets eine und dieselbe bleibt, eine geringere Gröfse der Zusammenziehung schlechterdings in nichts Anderem bestehen kann, als in einer Abnahme jener dieser Masse ertheilten Geschwindigkeit. Auf der anderen Seite wissen wir, dafs die Kraft der Beuger schneller als die der Strecker in Abnahme begriffen ist. Zu derselben Zeit also werden die Zusammenziehungen der Beuger langsamer vor sich gehen, als die der Strecker. So kann es kommen, dafs sie, ungeachtet ihrer gröfseren Schwäche, dennoch vermögen, das Glied schliefslich in ihrem Sinne bewegt zu hinterlassen; sie haben, so zu sagen, stets das letzte Wort. Ein Vorgang, dessen äufsere Form einige Aehnlichkeit darbietet mit dem von Dove am Differentialinductor beobachteten Falle, wo der durch ein elektromagnetisirtes Drahtbündel inducirte schnellere und der durch einen massiven Eisenkern erregte langsamere Strom sich an der Multiplicatornadel entgegenwirken. Man sieht die Nadel zuerst, wie von einem schnellen, kurzen Stofse, gleichsam einer Zuckung, getrieben,

[1] Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge u. s. w. S. 219.

in dem Sinne des Drahtbündelstromes sich bewegen, dann plötzlich anhalten und im Sinne des anderen Stromes weit langsamer zurückgehen.[1] Allein hier sind sich die abgeglichenen Elektricitätsmengen gleich, oder es überwiegt gar diejenige, die durch den massiven Eisenkern langsamer in Bewegung gesetzt wird. In unserem Falle hingegen ist der schnellere Stofs zugleich der stärkere, und es entsteht daher die Schwierigkeit, wie die geringere Wirkung der Beuger im Stande sein könne, die Geschwindigkeit der Gliedermasse in dem Sinne der Strecker zu vernichten, ja das Zeichen der Bewegung umzukehren. Das Geschäft dieser Vernichtung fällt indefs hier dem Bau der Gelenke selbst anheim, welche sich einer Drehung der Gliedmafsen über einen Winkel von 180° hinaus widersetzen. Daher auch in dem Falle des N-förmig geknickten Schenkels, und bei so schwachen Zuckungen, dafs die halbgebogene Lage nicht mit einemmale erreicht werden kann, das Ergebnifs eine Streckung ist.

Diese Erscheinung durch die verschiedenen Stufen der Erregbarkeit hindurch zu verfolgen, habe ich bisher noch nicht Gelegenheit gehabt. Es scheint natürlich, dafs mit abnehmender Kraft der Muskeln und zunehmender Steifigkeit derselben theils durch die Vertrocknung ihrer Oberfläche, theils durch Annäherung des teigigen Zustandes der Todtenstarre, der Winkel, den Ober- und Unterschenkel, wenn sie geradlinig gestreckt worden waren, nach der Zuckung miteinander machen, immer gröfser werden müsse, und dafs zuletzt, wenn die Beuger ganz aus dem Spiel gerathen sind, nur noch schwache Streckung zum Vorschein kommen könne. Wie dem auch sei, in diesem verwickelten Gebiet von Erscheinungen ist möglicherweise die Quelle von Ritter's Mifsverständnifs zu suchen, das wir somit auf so lange für beseitigt ansehen wollen, bis es aufs Neue durch unzweideutige und im Einzelnen mitgetheilte Erfahrungen sich das Recht der Berücksichtigung erkämpft haben wird.

Wir kommen jetzt zu dem anderen Hauptpunkte der Ritter'schen Lehre vom Gesetz der Zuckungen. Sieht man ab von dem Gegensatze der Strecker und Beuger, wie man wohl darf, und liest man in der Tafel, welche dieses Gesetz darstellt, stets nur Zuckung im Allgemeinen, wo Zuckung von Beugern allein oder Streckern allein steht, so kommen Ritter's Behauptungen einfach darauf zurück, dafs die einzelnen Fälle, in denen das Gesetz der Zuckungen sich als das umgekehrte von dem gewöhnlichen erweist, Normalfälle sind, welche den Zustand

[1] Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität u. s. w. S. 20.* — S. unten, §. IV dieses Kapitels.

der Organe verrathen, wie derselbe unmittelbar dem Leben zunächst wirklich beschaffen ist, und dafs diese Fälle durch geeignete Abstufung in das Umgekehrte überzugehen pflegen, welches man daher, bei geringeren Graden der Erregbarkeit, für gewöhnlich zu sehen bekommt. Diese Seite der Ritter'schen Arbeit ist, wie schon bemerkt wurde, von der erstbetrachteten wohl zu unterscheiden; während er sich dort irrte, wäre es immerhin möglich, dafs er hier das Rechte gefunden hätte, und es verdient bemerkt zu werden, dafs der Vorwurf, den wir oben gegen seine Art der Mittheilung als eine zu wenig den Thatbestand abbildende richten mufsten, ihn hier nicht trifft, da er im Gegentheil ausführlich berichtet: »Mehrere erinnern sich noch jetzt, »wie grofs die Verlegenheit war, als ich, eingenommen von dem mir »vorher nur bekannten ersten Falle ...« (V) »... jenes für Chemie »und Physiologie in gleich interessante Beziehungen gebrachte Phänomen, »ihnen zeigen wollte, gerade aber das Entgegengesetzte von dem sehen »zu lassen genöthiget war, was ich angekündiget hatte. Lange Zeit, »wohl eine halbe Stunde hindurch, mufsten wir diesen damals widrig »gewordenen Anblick dulden, dann ging das Organ durch Nuancen »von Phänomenen, die nicht einmal als Entgegengesetztes mehr meiner »Ankündigung entsprachen, erst nach und nach in den Zustand über, »von dem ich gesprochen hatte.... Es fand sich ... bei folgender Ueber»legung aller Umstände, welche jenem Erfolg coëxistirten, dafs erstens »die dazu verwandten Thiere, von welchen ich noch mehrere übrig »hatte, sämmtlich auf einem ganz vorzüglich hohen Grade der Erreg»barkeit und ihrer Ausdauer standen; zweitens dafs ich diese Thiere, »(Frösche), vorzüglich schnell präparirt, und die genannten Versuche »sogleich mit ihnen angestellt hatte, ohne, wie wohl sonst aus Oeko»nomie gewöhnlich, vorher erst andere Versuche über Reizung durch »blos thierische Theile, durch homogene Leiter, u. s. w., vorgenommen »zu haben. Bei Wiederholung desselben Verfahrens mit den noch übri»gen gleich hoch erregbaren Fröschen war der Erfolg constant, so wie »ich ihn ...« (oben) »... erhalten hatte. Es war durchaus gewifs, »dafs sehr erregbare Organe, unter Umständen, wo sie von dieser Er»regbarkeit noch wenig verloren hatten, sich schlechthin umgekehrt »verhielten, als bis zu einem gewissen Grade nicht so erregbare.« [1] In Mittheilungen dieser Art ist offenbar kein Zweifel zu setzen; allein die Eigenthümlichkeit des Gebietes der Reizversuche verbietet es dennoch, Ritter's Gesetz bereits unbedingt als der Natur unter allen Umständen entsprechend anzunehmen; sie fordert im Gegentheil auf, nun-

[1] Beiträge u. s. w. A. a. O. S. 72. 73.

mehr auch hierüber die Stimmen seiner Zeitgenossen und Nachfolger abzuhören.

Pfaff zunächst spricht sich an den beiden angeführten Stellen gegen die Umkehr des Gesetzes als den regelmäfsigen Gang der Erscheinungen an hoch erregbaren Fröschen aus. Allerdings habe auch er, und zwar auf Stufen hoher Erregbarkeit, manchmal genau den entgegengesetzten Erfolg von dem gewöhnlichen wahrgenommen, wie er auch schon in der allerersten Mittheilung über diesen Gegenstand bevorwortet hatte; allein er findet die Ursache dieses Erfolges vielmehr in voraufgegangenen Veränderungen der Erregbarkeit durch dauernde Ströme, statt in dem zufällig einmal vorkommenden, dem unversehrten Leben am nächsten stehenden Zustande der Erregbarkeit. Hier würde vielmehr nach ihm zwischen der Wirksamkeit des positiven und negativen Pols einer schwachen Metalldifferenz kein merklicher Unterschied stattfinden. [1]

Was es mit diesen Veränderungen der Erregbarkeit durch die Einwirkung geschlossener Ketten auf sich habe, wollen wir später in Augenschein nehmen, und verlegen daher dorthin die Beurtheilung der Pfaff'schen Hypothese. Einstweilen wollen wir, ohne uns bereits jetzt in diesem Punkte für oder wider Ritter zu entscheiden, mit der Sammlung von Zeugnissen in dieser wichtigen Angelegenheit weiter fortfahren.

### (iv) Fernere Bestätigungen des Gesetzes der Zuckungen.

Um diese Zeit (1805) unternahm Heidmann abermals die Bestimmung der galvanischen Spannungsreihe, und zwar sowohl der Leiter erster als der der zweiten Klasse Volta's mit Hülfe des Frosches nach Ritter's Vorschrift. [2] Pfaff, der gleichfalls mit Ermittelung des gegenseitigen elektromotorischen Verhaltens der Körper beschäftigt war, sich aber dabei des Condensators bediente, rügte Heidmann's Verfahren aus dem Grunde, dafs »es Zustände der Erregbarkeit gebe, in welcher bei »Schliefsung der Kette die Zuckung gerade nur in derjenigen Extre»mität erscheine, deren Nerv mit dem weniger oxydirbaren Metalle »bewaffnet ist.« [3] Wir sind Heidmann's Untersuchung schon bei einer früheren Gelegenheit begegnet (S. oben S. 100), da sie mit einem Versuche schliefst, der zwar in der Absicht angestellt wurde, den Strom

[1] Nordisches Archiv u. s. w. A. a. O. S. 37. 39. — Gehler's physikalisches Wörterbuch a. a. O. S. 721.

[2] Gilbert's Annalen der Physik. 1805. Bd. XXI. S. 85.

[3] Ebendas., 1806. Bd. XXIII. S. 54.

nachzuweisen, der aus der Berührung von Nerv und Muskel entspringen soll, in dem jedoch, wie wir zum Theil erst später erkennen lernen werden, diese entschieden nicht, vielmehr schwerlich etwas Anderes als der Frosch- oder Muskelstrom wirksam war. Es fand dabei Zukkung zweier Schenkel abwechselnd beim Schliefsen und Oeffnen des Kreises statt, ein Fall, der jetzt wohl geeignet wäre, unsere Aufmerksamkeit auf sich zu lenken, da es wichtig wäre, zu erfahren, ob die dadurch angezeigte Strömungsrichtung im Kreise der uns bereits durch Nobili's Multiplicatorversuche bekannten entspricht. Allein die Umstände des Versuches gestatten nicht, eine wirkliche Bestimmung des Vorgangs in demselben vorzunehmen, da erstens die beiden Schenkel Muskel an Muskel, und Nerv an Nerv, also mit ihren Strömen einander entgegenwirkend gelagert sind, zweitens der Strom, wie uns noch zu erfahren bevorsteht, auch von dem Stück Muskelfleisch allein ausgehen konnte.

Mit erhöhtem Interesse stofsen wir sodann auf eine Untersuchung von Paul Erman über unseren Gegenstand. Dieser umsichtige Forscher hatte sich ein erstes Mal verneinend in dieser Sache vernehmen lassen. »Die bloſse Ahnung eines solchen Unterschiedes flöſst Ehrfurcht ein«, sagt er mit Bezug auf die besondere Beziehung der Oeffnungs- und Schliefsungszuckung auf die Strömungsrichtung: »wenn wir, wie doch »der Sinn ist, statt Nerve, Mittelpunkt der Gehirnthätigkeit sagen, und »uns unter Muskel den peripherischen Radius der Spontaneität denken. »Um so mehr thut es mir leid, eine so erhabene Ansicht nicht bestä»tigt zu finden.« Er hatte damals, bei Gelegenheit seiner Untersuchung über die unipolaren Leiter, mit zugerichteten Froschschenkeln, die er in der Hand hielt, den einen Pol einer Säule berührt, deren anderer Pol mit dem Erdboden in leitender Verbindung stand. Es erfolgten lebhafte Zuckungen, gleichviel ob es der positive oder der negative Pol war, und gleichviel ob er die Muskeln oder den Nerven des Frosches damit in Berührung brachte. [1] Sechs Jahre später kam er in einer eigenen Abhandlung auf den verkannten Umstand zurück. [2] Er suchte, nachdem er diejenigen Thatsachen festgestellt hatte, die ihm als die Grundlage aller übrigen erschienen, nunmehr eine diese wesentlichen Fälle umfassende Theorie der Erscheinung zu geben. Folgendes sind die hiehergehörigen unter den durch schematische Abbildungen erläuterten Grundversuchen, von denen er ausgehen zu müssen glaubte:

[1] Gilbert's Annalen der Physik. 1806. Bd. XXII. S. 30.

[2] Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften in Berlin. Aus den Jahren 1812—1813. S. 155. »Versuch einer Zurückführung der mannigfaltigen Erschei»nungen elektrischer Reizung auf einen einfachen chemisch-physischen Grundsatz.«

»1. Die Reizung ist stärker, wenn der positive Erreger am Nerven, der negative am Muskel angelegt wird.«

»2. Wenn der positive Erreger am Nerven, der negative am Muskel liegt, so ist die Trennungs-Contraction viel schwächer als die »Schliefsungs-Contraction; und wenn umgekehrt der negative am Nerven, der positive am Muskel liegt, ist die Trennungs-Contraction stärker als die Schliefsungs-Contraction war.«

»3. Im Durchschnitt genommen ist die Trennungs-Contraction, »absolut betrachtet, immer schwächer als die Schliefsungs-Contraction.« (A. a. O. S. 157. 158.)

Die übrigen Fälle kommen, mit Ausnahme von dreien (4. 5. 6 zum Theil), welche uns nichts angehen, auf diese Grundsätze zurück. Um die Erscheinungen zu erklären, nimmt Erman folgendes in Anspruch: So wie ein feuchter Leiter in den Kreis der Säule tritt, zerfällt er in zwei durch einen Indifferenzpunkt geschiedene Zonen, eine positive und eine negative, eine sauerstoffreichere und eine sauerstoffärmere. Der Sauerstoff ist das Princip der Reizung.[1] Beides ist auch noch in der Allgemeinheit wahr, wenn man, an die Stelle von Sauerstoff und Wasserstoff, die Begriffe Nicht-Base und Base, Oxygen- und Hydrogenpolarität, wie wir jetzt sagen würden, Elektronegativität und -Positivität treten läfst. Liegt also der positive Erreger am Nerven, der negative am Muskel, so bilden Nerv und Muskel zusammen »hier den »bipolar gewordenen Leiter. Da aber in der gegebenen Zusammenstellung der gröfste Theil des Nerven in die positive Zone fällt, wo »Anhäufung des Sauerstoffs, ja, nach Davy's unwidersprechlichen Thatsachen, mechanisches Zuströmen desselben das Vorwaltende ist, so »wird beim Schliefsen der Kette eine starke Reizung erfolgen. Für den »entgegengesetzten Fall ist die Reizung viel geringer, denn die grofse »Mehrheit des Nerven liegt in der negativen Zone, von wo der Sauerstoff abfliefst; nur eine ganz geringe Strecke des Stammes, nebst den »feinen Verästelungen im Muskel, treten in den Zustand erhöhter Oxydation. ..... Das Räthsel der Trennungs-Contraction löst sich in »unserer Theorie auf in die bloſse Rückkehr des vorigen normalen »chemischen Gleichgewichts, welche eine Reizung bedingt, weil diese »Rückkehr nicht stattfinden kann, ohne dafs das früher ab- oder Zugeflossene nunmehr umgekehrt nach entgegengesetzter Richtung zu- »oder abfliefse« (S. 162). Auch Erman spricht übrigens, ohne jedoch ausdrücklich das Vorkommen des umgekehrten Gesetzes zu erwähnen,

[1] Vergl. Girtanner über die Irritabilität als Lebensprincip in der organisirten Natur. In Gren's Journal der Physik. 1791. Bd. III. S. 317. 507.

von mannigfaltigen Ausnahmen, welche die Regelmäfsigkeit der Erscheinungen stören, und willkürlich genug auf »einen durch Alter der Sub»jecte, Jahreszeit, Begattungstrieb und andere Zufälligkeiten modificirten Grad von Receptivität« bezogen zu werden pflegten (S. 169).

ERMAN's Abhandlung fällt bereits weit hinein in die Zeit, wo, wie dies in dem ersten Kapitel des ersten Abschnittes geschildert wurde, der Geschmack an den Froschschenkelversuchen überall erloschen und durch das Interesse an den mannigfaltigen Erscheinungen der Voltaïschen Säule verdrängt war. Er hatte geglaubt, dafs es durch eine den Thatbestand feststellende und das zerstreute Material unter einen allgemeinen Gesichtspunkt sammelnde Bearbeitung vielleicht gelingen werde, diese Klasse von Untersuchungen neu zu beleben (S. 157. 170); allein seine Hoffnung blieb unerfüllt. So sehr konnten diese wichtigen Erscheinungen in Deutschland, wo sie entdeckt und wo ihrer gepflegt worden war, in Vergessenheit gerathen, dafs dreifsig Jahre später dieselben in dem dürftigen Gewande von MATTEUCCI's Darstellung uns als etwas »unter uns weniger bekanntes und beachtetes« erscheinen und als LEHOT's, BELLINGERI's und MARIANINI's Entdeckungen gepriesen werden durften! [1]

BELLINGERI's uns von früher her bekannte Abhandlung [2] vom Jahre 1816 enthält auch in diesem Bezuge für uns keine neue Thatsachen. Von Fällen, wo das umgekehrte Gesetz beobachtet worden wäre, kommt darin nichts vor. Was die Theorie anlangt, so huldigt BELLINGERI, ohne ihren Urheber zu nennen, der oben S. 314 dargelegten von VOLTA aufgestellten Ansicht von der Oeffnungszuckung (Ivi, p. 168). Eigenthümlich ist ihm jedoch die Art, wie er eine in seiner Auffassungsweise begründete Schwierigkeit derselben zu umgehen sucht. Er setzt nämlich voraus, dafs die Elektricität durchaus nur dann Zukkung hervorzubringen vermöge, wenn sie die Nerven in absteigender Richtung durchstreift (p. 171 seg.), worauf VOLTA keinesweges bestanden hatte. Andererseits lehrt ihn jedoch der Versuch, dafs bei hoher Erregbarkeit auch der hereinbrechende aufsteigende Strom Zuckung zur Folge haben kann. Diese Wirkung nun bringt er auf Rechnung der sich abgleichenden thierischen Elektricität (p. 177. 178), ohne zu erwägen, dafs es möglich wäre, wie es wirklich der Fall ist, dafs auch der thierisch-elektrische Strom die aufsteigende Richtung befolge und dafs, wenn wirklich diese Richtung die umgekehrte wäre, der absteі-

[1] MÜLLER's Archiv u. s. w. 1841. Bericht über die Fortschritte der Physiologie im Jahre 1840. p. V.*

[2] Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino. t. XXIII. 1818. p. 143—192.*

gende thierisch-elektrische Strom doch durch den aufsteigenden der Kette bei weitem übertroffen werden würde. Für die Leser dieser weitschweifigen Abhandlung sei noch bemerkt, dafs BELLINGERI es für gut befunden hat, die Ordnung der galvanischen Spannungsreihe umzukehren, und das Zinkende derselben das negative, das Silberende das positive zu nennen, so dafs die Anordnung bei seinen Versuchen, wenn er die Metalle nicht bei Namen nennt, sondern sie nur durch ihre Vorzeichen unterscheidet, immer als die entgegengesetzte von der erscheint, die sie wirklich war (p. 158. 189).

Erst elf Jahre später, 1827, erscheint wieder eine Arbeit über diesen Gegenstand von MARIANINI.[1] Sie bietet mehreres Neue dar. Die Stärke der Oeffnungszuckung wachse wie die der Schliefsungszuckung mit der Zahl der Plattenpaare und der Leitungsfähigkeit des feuchten Leiters mit dem die Säule geschichtet sei. Beide Zuckungen seien von gleicher Stärke, was ERMAN's Angabe widerspricht. MARIANINI versucht, auf eine freilich seltsam rohe Art, sich ein Mafs für die Stärke der Zuckungen zu verschaffen. Während nämlich ein Frosch mit Rumpf und Füfsen, die nur noch durch die Ischiadnerven zusammenhängen, in zwei Gefäfse taucht, worin sich die Enden der Säule befinden, sucht er zu beurtheilen, um wie viel die Schenkel sich bei jeder Zuckung über die Flüssigkeit des Gefäfses emporheben, auf dessen Grunde sie in gleichsam knieender Stellung gelagert sind. Wenn die hintere Beckenwand nicht entfernt worden, wenn der Nerv unter Wasser befindlich oder mit nassem Fliefspapier bewickelt, wenn aufser durch den Nerven noch durch einen metallischen Leiter die Verbindung zwischen Rumpf und Schenkeln hergestellt sei, oder endlich, wenn nur die Schenkel ohne freigelegte Nerven dem Strome ausgesetzt werden: in allen diesen Fällen erhalte man keine, oder eine nur sehr schwache Oeffnungszuckung, gleichviel, welches die Strömungsrichtung sei. Zum Erscheinen derselben sei es nothwendig, dafs der Strom eine gewisse Zeit hindurch angehalten habe. Bediente sich MARIANINI einer sogenannten Tassenvorrichtung von acht Gliedern, wovon aber nur zwei wirksam, die übrigen sechs nur kleine Messingbögen waren, so erhielt er die stärkste Oeffnungszuckung, wenn der Kreis 8 — 10″ geschlossen gewesen war. Sie war alsdann dreimal so stark als wenn die Schliessung nur einen Augenblick gedauert hatte (p. 237—242). Auf die Bedeutung dieser Erscheinungen wird später noch zurückgekommen

[1] Annales de Chimie et de Physique. Mars 1829. t. XL. p. 225. — SCHWEIGGER's Journal der Chemie und Physik. 1829. Bd. LVI. S. 227. — Die Abhandlung wurde im November 1827 der Akademie zu Roveredo brieflich mitgetheilt. (Ibid. p. 256.)

werden. Die Erklärung der Oeffnungszuckung betreffend, so ist ein grofser Theil von Marianini's Arbeit bestimmt, Volta's Meinung von einem Rückstrom im Augenblick der Oeffnung zu widerlegen (p. 225 bis 236). Trotzdem sucht Marianini selbst, gleich Bellingeri die Lösung des Räthsels weniger in der Reactionsweise der organischen Gebilde, als in der Art der Elektricitätsbewegung überhaupt, und zwar erneuert er die Lehot'sche Theorie von einer Anhäufung der Elektricität in den Nerven, von wo aus sie im Augenblick des Oeffnens freiwerdend und nach Gleichgewicht strebend die Nervenstämme in absteigender Richtung zu treffen vermöge (p. 241. 255. S. oben S. 315.) Die Oeffnungszuckung bei absteigendem Strome aber glaubt er daraus ableiten zu können, dafs es stets eine Menge von Nervenästen am Thiere gebe, die bei scheinbar absteigender Stromungsrichtung dennoch aufsteigend durchflossen seien (p. 245. 246. 255. 256). Den vielen Dunkelheiten einer solchen Annahme gegenüber läfst jedoch Marianini den Ausweg offen, dafs es vielleicht in den Nerven natürliche elektrische Ströme gebe, welche, durch die künstlichen Ströme, die wir auf sie wirken lassen, gestört, bei der Oeffnung des Kreises ihre früheren Bahnen wieder gewinnen würden und so eine elektrische Bewegung im Nerven zu veranlassen geeignet wären (p. 255).

### (v) Uebertragung des Gesetzes der Zuckungen auf die elektrischen Empfindungen.

Ungleich wichtiger, als diese nicht hinreichend durchdachten Vermuthungen, ist indefs die Frage, welche Marianini in Anregung bringt, ob eine ähnliche Beziehung, wie sie zwischen der absteigenden Strömungsrichtung und den Zuckungen in Betreff der Leichtigkeit ihres Eintretens obwalte, auch vielleicht für die durch den elektrischen Strom bewirkten Empfindungen und der aufsteigenden Strömungsrichtung stattfinde (p. 248). Der Ausdruck, den Marianini seinem Gedanken zu geben vermochte, ist mangelhaft genug, da die Bell'schen Lehrsätze wohl damals noch nicht hinreichend Gemeingut geworden waren: »Maintenant, puisque l'électricité fait naître une contraction, précisément »quand elle court de l'origine à l'extrémité des nerfs, ne serait-il pas »possible qu'elle produisit une sensation, quand elle les traverse dans »une direction opposée?« Nichtsdestoweniger gebührt Marianini das Verdienst, diese wichtige Seite der Frage von Neuem erkannt und ausgesprochen und den Versuch gemacht zu haben, sie durch objective Erfahrungen zu beleuchten. Auf subjectivem Gebiete nämlich war dieselbe in Deutschland schon längst dagewesen. Ich habe ihrer bisher

nur, um die Darstellung nicht unnütz zu verwickeln, keine Erwähnung gethan und hole das Versäumte daher jetzt nach.

## *A. Geschichtliches in Betreff der Beziehung elektrischer Empfindungen zur Strömungsrichtung.*

### a. Geschmack.

Pfaff hatte bereits in seiner Inaugural-Dissertation (1793) die Verschiedenheiten des elektrischen Geschmacks je nach der Vertheilung der Metalle an der Zunge mit der Verschiedenheit der Zuckungen je nach der Vertheilnng an Nerv und Muskel in Zusammenhang gebracht. Liegt Silber auf dem Rücken der Zunge, und ist die Spitze derselben mit Zink belegt, so entsteht in der letzteren der bekannte, lebhaft saure Geschmack. Bei der entgegengesetzten Vertheilung ist er, nach den übereinstimmenden Aussagen aller Beobachter, viel schwächer, oder gar nicht vorhanden; nur über seine Wesenheit im Falle des Vorhandenseins sind die Stimmen getheilt. Volta [1] selbst, Carradori, [2] v. Humboldt, [3] Ritter, [4] bezeichnen ihn theils als laugenhaft, theils als bitter und herb, während Robison, [5] Kielmeyer [6] und Pfaff [7] darin nichts finden können, als einen geringeren Grad desselben sauren Geschmacks, der bei der anderen Anordnung verspürt wird. Wie dem auch sei, Pfaff schliefst nun: »Wenn man die Umstände, unter denen der saure Ge»schmack entsteht, mit denen vergleicht, unter welchen die Zusammen»ziehungen erfolgen, so ist die nervenreiche Spitze der Zunge den Ner»ven, an welchen das eine Metall angebracht wird, die Mitte der Zunge »aber den Muskeln analog, die das andere Metall bedeckt;« und »wie ».... die Zusammenziehungen schwächer waren, wenn das besser lei-

[1] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. Memoria seconda sull' Elettricità animale. p. 117. — Ivi, Memoria terza compresa in una Lettera diretta al S. Giov. Aldini. p. 184 e seg. — Nuova Memoria divisa in tre Lettere dirette al S. Ab. Ant. Mar. Vassalli ec. Lettera seconda. p. 208. — Brief an Banks p. II. p. 121.*

[2] Reinhold Geschichte des Galvanismus u. s. w. Abth. II. S. 5.*

[3] Versuche u. s. w. Bd. I. S. 317.*

[4] Beweis, dafs ein beständiger Galvanismus u. s. w. S. 79.* — J. H. Voigt's Magazin für den neuesten Zustand der Naturkunde mit Rücksicht auf die dazu gehörigen Hülfswissenschaften. 1800. Bd. II. S. 361.* — Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VII. S. 448.*

[5] Al. Monro's und Rich. Fowler's Abhandlung u. s. w. S. 175.*

[6] Gren's Journal der Physik. 1794. Bd. VIII. S. 66.*

[7] Gren's Journal ebendas. S. 252. 275. — Ueber thierische Elektricität u. s. w. S. 139.*

»tende« — negative — »Metall an die Nerven und das schwächer »leitende« — positive — »an die Muskeln angebracht war, so war »auch hier, bei ähnlicher Vertheilung der Metalle, die Wirkung vermin»dert, welche Verminderung sich durch gänzliche Abwesenheit des Ge»schmacks äufserte, was jedoch für keinen wesentlichen Unterschied »gehalten werden kann, da auch die gröfsere Schwäche der Zusam»menziehungen endlich in Mangel derselben übergeht.« [1] Den Fehler in Pfaff's damaliger Auffassungsweise wird man leicht gewahr; nicht an dem gröfseren Nervenreichthum dieses oder jenes Zungentheiles konnte es liegen, dafs die eine Anordnung sich wirksamer erwies als die andere, sondern der Grund davon war der, dafs in dem einen Falle die Geschmacksnerven aufsteigend, in dem andern absteigend durchströmt wurden.

Nicht viel glücklicher ist die Deutung, die Lehot von demselben Umstande gab. Dieser behauptete, dafs, wenn man die Zunge mit Zink belege, und dasselbe mit Silber berühre, welches man in der angefeuchteten Hand halte, man sogleich einen eigenen Geschmack empfinde; »än»dert man die Lage dieser Armaturen, so dafs das Silber auf der »Zunge, das Zink an den Finger zu liegen kommt, dann ist blos im »Augenblick der Trennung jener Geschmack, obgleich in niederem »Grade bemerkbar,« auch verbreitet er sich langsamer als bei der entgegengesetzten Vertheilung. Die Erklärung ist die, dafs bei der ersteren Lage der Strom ungehindert kreisen könne, bei der zweiten erfahre er einen Widerstand an der Zungenspitze, häufe sich daselbst an und fliefse im Augenblick der Trennung aufsteigend wieder zurück. [2] Es ist jene uns schon bekannte Lehre von der Anhäufung der Elektricität, die sich Marianini später dergestalt zu eigen machte, dafs er sie sogar für sein Eigenthum hielt.

Ritter bemächtigte sich sodann dieser Erfahrungen und suchte auch hier sein Schema symmetrischer Gegensätze, wie für die Zuckungen, durchzuführen, ja auch hier erblickte er zwei mit ihren Wirkungen ineinandergreifende verschiedene Erregbarkeiten, eine »geringere, be»dingte, endliche,« der früh vergänglichen Flexorenerregbarkeit entsprechend, und eine »beträchtlichere, unbedingte, unendliche,« der, wie er glaubte, unerschöpfbaren Extensorenerregbarkeit analog. [3] Demgemäfs »bewirkt der positive Pol... einen sauren Geschmack, der, »nach dem Anhalten, während der Schliefsung, mit der Trennung in

[1] Gren's Journal u. s. w. A. a. O. S. 251. 275. — Ueber thierische Elektricität u. s. w. S. 137.

[2] Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. IX. S. 192 ff.

[3] Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. S. 158.

»einen bittern alkalischen übergeht. Der negative Pol aber giebt »bei und während der Schliefsung einen alkalischen, und erst bei »der Trennung den sauren Geschmack.« [1] Nicht genug indefs, wie man hier bereits Oeffnungs- und Schliefsungszuckung unterscheidet, so ist es Ritter angeblich gelungen, auch die, nach seinem Gesetz (S. oben S. 319) stattfindende Umkehr der Erscheinungen bei der Zuckung, bei den Sinnesorganen wiederzufinden. »Die Zunge befinde sich vorerst am »positiven Pol. Wie man immer mehr Lagen in den zu schliefsenden »Kreis nimmt,« — nach der oben S. 266 beschriebenen Methode — »geht »der gewöhnliche hier anfänglich saure Geschmack an ihm durch einen »wahrhaft neutralsalzigen, am besten dem des Kochsalzes zu ver»gleichen, über in einen bittern, brennenden, alkalischen.... Bei der »Trennung.... wechselt der alkalische Geschmack am positiven Pol »mit einem sauren, der aber nur kurze Zeit dauert, sehr schnell ab»nimmt, und durch die neutralsalzige Nuance in einen schwächeren »alkalischen übergeht, in welchem dann alle Empfindung, soweit sie »sich als Geschmack ausdrückt, verschwindet.« (A. a. O. S. 168. 169). Ganz dasselbe, nur mit Verwechselung der Qualitäten, finde am negativen Pole statt, und der am positiven Pole durch Umkehr erhaltene alkalische, am negativen ebenso erhaltene saure Geschmack, seien viel stärker als die ursprünglichen, zu diesen Strömungsrichtungen gehörigen Empfindungen. [2]

Auf die nämliche Art, wie mit dem elektrischen Geschmack, verfährt nun Ritter mit den Erregungen aller Sinnesorgane, indem er stets beim Oeffnen eine Wirkung von entgegengesetztem Inhalt von der durch das Schliefsen erzeugten sucht, welche wieder, je nach der Strömungsrichtung, die aber hier abstract als »Pol« aufgefafst wird, eine andere und entgegengesetzte ist, und diese Erscheinungen sollen, bei längerer und stärkerer (die bedingte Erregbarkeit vernichtender) Einwirkung des Stromes in die entgegengesetzten umschlagen, gerade wie im Gebiete der Zuckungen zuerst nur Beuger, nachher nur noch Strecker sich zusammenziehen sollten. Das Umschlagen ausgenommen, gelingt auch Ritter die Ausfüllung seines Schema's für alle Sinnesorgane; diese Eigenthümlichkeit darzustellen, glückte ihm aber nur für das Gefühl, den Geschmack und theilweise das Gesicht; Geruch und Gehör versagten ihm jedoch zunächst nur wegen der grofsen mit dem Versuch verbundenen Beschwerden (A. a. O. S. 157 ff.).

[1] Voigt's Magazin u. s. w. Bd. II. 1800. S. 361. * — Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VII. S. 448. * — Beiträge u. s. w. A. a. O. S. 161. 162. §. 87. *

[2] Vergl. Gilbert's Annalen der Physik. 1805. Bd. XIX. S. 8. 9. *

So sehr ich geneigt bin, Fechner's Bemerkung in Ansehung Ritter's beizupflichten: ».... dafs manche nicht dieselben Empfindungen »als er wahrnahmen, ist bei diesen halb subjectiven Erscheinungen kein »Beweis, dafs nicht andere sie wahrnehmen konnten..... Wenn von »seiner Phantasie hiebei mancher Fehlgriff zu erwarten ist, so mufs »doch andererseits auch zugegeben werden, dafs zur discreten Beob»achtung von Empfindungen wie diese, eine Art der Aufmerksamkeit »erfordert wird, die nicht ohne alle Uebung und öftere Beschäftigung »mit diesen Versuchen zu erlangen sein möchte,« [1] — der Verdacht gegen Mittheilungen der Art verdoppelt sich, wenn man den Weg der unbefangenen Beobachtung gänzlich verlassen und alle Bemühungen darauf gerichtet sieht, an den so biegsamen subjectiven Erscheinungen den ein für allemal festgesetzten Kreis einförmiger Kategorieen wiederzuerkennen.

Nach diesem Mifstrauensvotum nehme ich, sicher nicht mifsverstanden werden zu können, keinen Anstand weiter, auch noch das Uebrige von Ritter's Beobachtungen über die elektrische Erregung der Sinneswerkzeuge im Wesentlichen anzuführen, da es zum Ganzen dieses Gebietes physiologischer Erkenntnifs gehört, und früher oder später doch einmal wieder vor den Richterstuhl neuer Versuche gezogen werden mufs. Ich fahre nunmehr mit denjenigen Sinnen fort, für welche die Aussagen jenes unermüdlichen Selbstbeobachters so gut wie allein stehen, dem Geruch und Gehör nämlich, indem ich der Uebersichtlichkeit halber, dieselben nach Art des Gesetzes der Zuckungen in Tabellen zusammenfasse; noch hole ich vorher eine solche für die elektrischen Geschmacksempfindungen nach.

## Das Gesetz der elektrischen Erregung der Sinneswerkzeuge, nach Ritter.

I.

| Geschmack. | Aufsteigender Strom. | Absteigender Strom. |
|---|---|---|
| Bei und während der Schliefsung. | Stark saurer, jedoch milder und stumpfer Geschmack. | Bitter alkalischer, dabei stechender, schneidender, gleichsam bohrender Geschmack. |
| Bei und nach der Oeffnung. | Der alkalische Geschmack. | Der saure Geschmack. |

[1] Fechner's Lehrbuch u. s. w. S. 473. Anm.

b. Geruch.

II.

| Geruch. | Aufsteigender Strom. | Absteigender Strom. |
|---|---|---|
| Bei und während der Schliefsung. | Saurer Geruch. Abstumpfung; die Fähigkeit zum Niesen aufgehoben. | Ammoniakalischer Geruch. Drang zum Niesen. |
| Bei und nach der Oeffnung. | Das Entgegengesetzte, wie beim Schliefsen zum absteigenden Strom. | Das Entgegengesetzte, wie beim Schliefsen zum aufsteigenden Strom. |

Vergl. an den unten angegebenen Stellen.[1] Die oben S. 285 angeführten Beobachter, welche bereits mittelst der einfachen Kette Geruch wahrgenommen haben wollen, geben übrigens beide denselben bei absteigendem Strome als faulig an; was sich sichtlich mit der Ritter'schen Angabe seiner ammoniakalischen Natur vereinigen läfst. Was die Neigung zum Niesen betrifft, so versteht es sich von selbst, dafs sie sich, dem Trigeminus angehörig, hier gleichsam nur zufällig einmischt. Es ist aber gewifs bemerkenswerth, dafs auch Grapengiesser die niesenerregende Wirkung des absteigenden Stromes bestätigt, während der andersgerichtete Strom mehr einen drückenden Schmerz ohne alle Neigung zum Niesen hervorbringt.[2] Die von Ritter angewandte Säule hatte 20 Lagen, und die Beschwerden des Versuches waren furchtbar.

c. Gehör.

Es ist folgendes voraufzuschicken. Ritter stellt zuerst die seltsame Behauptung auf, dafs der Ton, den man beim Schlingen vernehme, eben so jeder andere Percussionston des menschlichen Körpers, durch Klopfen mit dem Finger erhalten am Gaumen, Kinn, dem Kopfe, der Brust, dem Rückgrad, den Knieen, ja den Fersen, dem eingestrichenen g ($\bar{g}$) unserer Clavis entsprechend sei. »Die stärkste, durch innere »Mittel zu bewirkende Aeufserung dieses Tones ... bleibt mir vor der »Hand das reine Schlingen. Es ist erstaunend, wie gleich es sich jede

[1] Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VII. S. 460—462. — Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. S. 161. §. 86.

[2] Versuche, den Galvanismus zur Heilung einiger Krankheiten anzuwenden. Berlin 1801. S. 52.

»Zeit und jeden Orts bleibt.« Ritter hörte aber beim Schlingen aufser dem $\bar{g}$ noch alle übrigen G's mitklingen, um so schwächer, je entfernter vom $\bar{g}$; und ferner noch zwei andere Töne, »von denen der »eine zwischen $\bar{d}$ und $\overline{cis}$, der andere aber zwischen $\bar{\bar{d}}$ und $\overline{\overline{cis}}$, fällt, »die also $\bar{g}$ einschliefsen, unter sich aber um eine vollkommene Octave »von einander entfernt sind. Der eingestrichene von beiden pflegt »hierbei der stärkere zu sein.«

Bringt man beide Ohren in den Kreis der Säule, oder bringt man beide Poldrähte an das Ohrläppchen eines und desselben Ohres an, so hört man im Augenblick der Schliefsung einen Schall, und sodann während ihrer Dauer einen Ton, jenes für gewöhnlich beim Schlingen vorhandene $\bar{g}$. Was nun geschieht, wenn man nur einen Poldraht an das eine Ohr bringt, den andern in die wohlbefeuchtete Hand nimmt, lehre folgende Tabelle.

III.

| Gehör. | Aufsteigender Strom. | Absteigender Strom. |
|---|---|---|
| Schliefsung. | Schlag und Schall schwächer. | Schlag und Schall stärker. |
| Während der Schliefsung. | Ton um so tiefer als $\bar{g}$, je stärker der Strom. | Ton um so höher als $\bar{g}$, je stärker der Strom. |
| Oeffnung. | Schlag und Schall überhaupt schwächer. | Schlag und Schall überhaupt schwächer. |
| Nach der Oeffnung. | Ton höher als $\bar{g}$. | Ton tiefer als $\bar{g}$. |

Das Intervall zwischen dem höheren Tone des aufsteigenden Stromes und dem Grundtone $\bar{g}$ sei, bei gleicher Kraft der Säule, stets kleiner als dasjenige zwischen dem tieferen Tone des aufsteigenden Stromes und demselben Grundtone. Der erstere also z. B. zwischen $\overline{gis}$ und $\bar{a}$ fallend, der letztere fast genau $\bar{f}$. [1]

[1] S. Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VII. S. 462.* — Physisch-chemische Abhandlungen u. s. w. Bd. II. S. 108.* Eine eigene sonst nirgends gedruckt erschienene Abhandlung unter dem Titel: »Neue Versuche und Bemerkungen »über die Wirkungen des Galvanismus der Voltaischen Batterie auf das Gehör-»organ.« (1801). — Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. S. 160. §. 85.* — Voigt's Magazin u. s. w. 1805. Bd. IV. S. 584. 585.*

Gegen den Inhalt dieser Tabelle wäre an und für sich Nichts zu erinnern. Es läfst sich von vorn herein kein Grund geltend machen, warum dem nicht so sein sollte. Ebenso wenig gegen die Behauptung rücksichtlich des Erfolges des Anlegens beider Poldrähte an ein und dasselbe Ohrläppchen. Hier war der eine Gehörnerv nämlich ganz einfach von einem Strome, nur in anderer Richtung und vermuthlich viel schwächer durchflossen, als wenn der eine Draht in die Hand genommen wurde. Es könnte also alsdann ein beliebiger Ton, immerhin z. B. das eingestrichene *g*, gehört werden. Allein auf keinen Fall durfte das Ergebnifs, so scheint es, das nämliche sein beim Anlegen beider Poldrähte an beide Ohren. Alsdann war der eine Gehörnerv auf-, der andere absteigend durchflossen; der eine mufste also den höheren, der andere den tieferen Ton vernehmen, und nichts würde wunderbarer sein, als die von Ritter angekündigte subjective Verschmelzung einer grofsen oder kleinen Terz zu dem mittleren Tone. Ritter bemerkte diese Schwierigkeit weniger, weil er, wie schon erwähnt, die Enden der Säule abstract als Pole auffassend, auch beim Anlegen beider Drähte an ein Ohrläppchen den Erfolg einer doppelten Reizung zu einer Wahrnehmung vereinigt vor sich zu haben meinte. Es ist daher sehr zu fürchten, dafs, wenn es ihm eingefallen wäre, es ihm ebenso leicht geworden sein würde, den Sorg'schen Combinationston nach Willkür herauszuhören. Leider haben uns die grofsen Uebelstände, mit denen auch diese Versuche für den Beobachter verknüpft sind, einer Wiederholung derselben und somit einer erfahrungsmäfsigen Controlle der Ritter'schen, gerade in diesem Punkte ihrer ganz besonders bedürftigen Aussagen beraubt. Eine gröfsere Sicherheit wartet unser bei dem Gesichtssinne, wo sich denselben glücklicherweise andere zur Seite stellen, über deren Zuverlässigkeit kein Zweifel obwalten kann.

### d. Gesicht.

Auch hier ist es Pfaff, der zunächst die Gegensätze, entsprechend den Strömungsrichtungen, deutlich hervorgehoben hat. Wenn man den einen Augapfel mit Stanniol belegt, und Silber, welches damit in Berührung steht, in den Mund nimmt, so hat man einen lebhafteren Blitz als bei der umgekehrten Vertheilung. Bringe man das Silber, statt in den Mund, an das andere Auge, so sieht man in beiden Augen den Blitz, stärker jedoch in demjenigen, welches mit dem positiven Metalle bewaffnet ist, wo also der Strom in dem Sehnerven aufsteigt. [1]

[1] Gren's Journal der Physik. 1794. Bd. VIII. S. 252. 253. * — Ueber thierische Elektricität u. s. w. 1795. S. 142. *

Nach Ritter tritt am Zinkpole der Säule, bei aufsteigendem Strome in dem Sehnerven, ein erhöhter Lichtzustand des Auges ein, d. h. die gewöhnliche Helligkeit des Sehfeldes bei vor äufserm Lichte geschütztem Auge ist gröfser als sonst. Das Licht sei blau, und gleichzeitig, behauptet Ritter, werden äufsere Gegenstände blau, verkleinert und minder deutlich gesehen. Der Trennungsblitz sei Nichts als das Austreten aus dem erhöhten in einen noch unter dem gewöhnlichen stehenden Lichtzustand; gleichzeitig sehe man roth, verkleinert und deutlicher, bis endlich alle Erscheinungen auf Null zurückkommen. Bei der umgekehrten Strömungsrichtung ist natürlich Alles umgekehrt, statt blau ist roth, statt roth blau zu lesen, das Uebrige ergiebt sich von selbst. So entsteht folgende Tabelle.

IV.

| Gesicht. | Aufsteigender Strom. | Absteigender Strom. |
|---|---|---|
| Schliefsung. | Eintritt des positiven Lichtzustandes — Blitz. | Eintritt des negativen Lichtzustandes — Blitz. |
| Während der Schliefsung. | Beharrender positiver Lichtzustand. Blaue Farbe. Verkleinerung äufserer Gegenstände. Minder deutliches Erkennen derselben. | Beharrender negativer Lichtzustand. Rothe Farbe. Vergröfserung äufserer Gegenstände. Deutlicheres Erkennen derselben. |
| Oeffnung. | Austritt des positiven Lichtzustandes und Uebergang desselben in den negativen — Blitz. | Austritt des negativen Lichtzustandes und Uebergang desselben in den positiven — Blitz. |
| Nach der Oeffnung. | Beharrender negativer Lichtzustand. Rothe Farbe. Vergröfserung äufserer Gegenstände. Deutlicheres Erkennen derselben. Allmäliges Zurückkommen aller dieser Erscheinungen auf Null. | Beharrender positiver Lichtzustand. Blaue Farbe. Verkleinerung äufserer Gegenstände. Minder deutliches Erkennen derselben. Allmäliges Zurückkommen aller dieser Erscheinungen auf Null. |

Vergl. an den unten angegebenen Stellen.[1] Am Auge ist es Ritter, wie bemerkt, auch gelungen, das Umschlagen der jeder einzelnen Strömungsrichtung zugehörigen Erscheinungen in die entgegengesetzten durch immer gesteigerte elektrische Erregung, (wobei, seiner Ansicht nach, die bedingte Erregbarkeit des Organs vernichtet wird,) zu erzwingen. »Man nehme eine Säule von 100, 150 oder 200 Lagen, »befeuchte die Hand für den andern Pol mit Kochsalz- oder Salmiak»lösung, armire sie mit Eisen, Messing, oder dergleichen, und schliefse »nun, erst bei wenig Lagen, dann fortgehend bei mehreren,« — S. oben S. 266 — »bis endlich die ganze Säule im Kreise ist. Das Auge be»finde sich dabei am positiven Pole. Anfangs hat man das nem»liche Blau, wie sonst; es nimmt zu, je weiter man geht, endlich »aber steht es still, es trübt sich, es wird eine gemischte Farbe grü»ner Art daraus, doch nicht so bestimmt grün, als das vorige Licht »blau war, dann entwickelt es sich zu Gelb, u. s. w., bis es endlich »das herrlichste Roth, und von einer Intensität ist, wie man es bis»her selbst am negativen Pole noch nie gesehen haben wird. Trennt »man jetzt nach einiger Zeit angehaltener Schliefsung die Kette, so »hat man, statt des bei schwächerer Wirkung gewöhnlichen Roths, »jetzt schönes Blau zur Trennungsfarbe. Dieses wird aber bald sehr »schwach, und geht durch die nemliche Art von Grün, die ich vor»hin beschrieb, in schwaches Gelbroth oder Roth über, in welchem »dann das Phänomen erlischt. Der ganze Vorgang vom Augenblicke »der Trennung an ist die Geschichte kaum einiger Sekunden. Befindet »man sich am negativen Pol, und verfährt auf die gleiche Weise, »so fällt der Versuch etwas schwerer, und man braucht mehr Lagen, »bis der Wendepunkt eintritt. Er tritt aber wirklich ein, und statt »des gewöhnlichen Roths, bei schwacher Wirkung, hat man, nach »einem Uebergange durch Grün, das lebhafteste Blau. Oeffnet man »die Kette, so bekommt man zur Trennungsfarbe erst Roth, statt »Blau, es geht aber bald durch einen Schein von Grün über in »schwaches Blau, und in dem erlischt auch dieses Phänomen. Diese »Versuche sind schwer, und kosten viele Ueberwindung, denn das »Auge steht ungemein dabei aus; doch habe ich nichts gescheut, durch »öftere Wiederholung mich des Gleichbleibens ihrer Resultate durchaus »zu versichern. Auch sind sie seit der Zeit schon mehreren, die Muth

[1] Voigt's Magazin u. s. w. 1800. Bd. II. S. 361—364. * — Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VII. S. 448. 467—472. 474. * — Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. 1805. S. 159. 160. §. 84. *

»genug hatten, sie selbst zu wiederholen, auf dieselbe Weise ge»lungen.« [1]

Das Roth der Umkehr brachte übrigens nicht, wie Ritter erwartet hatte, auch wiederum den negativen Lichtzustand (S. die Tabelle) mit sich, sondern im Gegentheil die Lichtvermehrung wuchs zusehends; umgekehrt wuchs beim Blau der Umkehr, statt dafs positiver Lichtzustand eingetreten wäre, die Lichtverminderung fort und fort. [2] Ritter faſste übrigens, durch diese Wahrnehmungen ermuthigt, folgenden kühnen Gedanken, den ich, nach allem Vorhergehenden, wohl in seiner eigenen Sprache mittheilen darf: »ob nicht alles, und so auch das »alltägliche Sehen von Farben...., zunächst von einer Einwir»kung auf die bedingte, die erste Erregbarkeit, die, welche, wo »Muskeln waren, die der Flexoren hieſs, herrühre, und ob, wenn »man diese Erregbarkeit geschwächt oder auch erschöpft hätte, nun »nicht die umgekehrte, unbedingte, zweite, die, welche, wo Mus»keln sind, die der Extensoren heiſst, auftrete, und alles umgekehrt »würde, so dafs, was vorhin blau, jetzt gelb oder roth, was vorher »gelb oder roth, jetzt blau erschiene. Ich glaubte zu solchen Schwä»chungen der ersten Erregbarkeit zunächst das Verfahren geschickt, »wie man es bei den bekannten Darwin'schen Augentäuschungs»versuchen anwendet.... Ich vermuthete, durch länger als gewöhn»lich angehaltenes Sehen auf starke Farben, nachdem sie endlich dem »Auge verschwunden wären, es zuletzt wirklich bis zum Sehen der »entgegengesetzten zu bringen, (es versteht sich: ohne das Auge »vom Gegenstand wegzuwenden), indem ich eben jenes völlige Ver»schwinden der vorigen Farbe schon für Folge einer temporären Unter»drückung obiger erster Erregbarkeit, die so weit gediehen wäre, dafs »das Licht vom Gegenstand bereits in die zweite Erregbarkeit über»griffe, sich also schon die Producte der Erregung beider, als Ent»gegengesetzte, im Zusammenfassen durch den Sinn, in dem neutralen »Weiſs oder Grau, was der Gegenstand nach dem Ausbleichen zu zei»gen scheint, darstellten, hielt.« Indessen gelang dies Ritter nicht; »Ohngeachtet eines bis 30 Minuten starr angehaltenen Sehens auf den »Gegenstand, und der lebhaftesten Farben, die sich finden lieſsen, trat »doch von einer Umkehrung der Farben noch immer nichts ein. »Noch weniger hatte ich, was man etwa, dem gewöhnlichen Gange »der Augentäuschungen gemäſs, ferner vermuthet haben könnte, beim

[1] Gilbert's Annalen der Physik. 1805. Bd. XIX. S. 6—8. * — Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. S. 166. §. 93. *

[2] Beiträge u. s. w. A. a. O. S. 173—175. §. 97. *

»Wegsehen nachmals die umgekehrte Täuschung von der gewöhn-
»lichen. Alles, was ich erhielt, war, dafs Gegenstand und Umgebung
»zu einem gleichen Teint kamen, über den es aber nicht hinausging,
»und was die Täuschung selbst betrifft, so war sie anfangs schwächer,
»und wurde erst nach einiger Zeit stärker, auch sehr stark, blieb
»aber durchaus die gewöhnliche.« Den Grund des Mifslingens seines Vorsatzes erblickt Ritter in der noch immer zu geringen Macht des Reizes, der, wie er sich vorstellt, die »bedingte Erregbarkeit« zu vernichten, die entgegengesetzte, »unbedingte«, aber hervortreten zu lassen, noch immer nicht hingereicht habe. »Es bedurfte also noch im-
»mer vielleicht nur eines stärkeren Reizes, um dennoch an das
»gewünschte Ziel zu kommen. Auch habe ich es in der That erreicht;
»das Mittel dazu war das ungeschwächte Licht der Sonne selbst.
»Es war in der letzten Hälfte des Octobers 1804, als ich, bei einem
»vorzüglich klaren Himmel, mit durch äufsere Hülfsmittel offen gehal-
»tenem Auge, so starr als möglich in die Sonne sah, und damit, aller
»nach und nach im Grunde des Auges entstehenden Empfindung, als
»brenne der Focus einer Linse darauf, ohngeachtet, 10, 15, ja bis
»20 Minuten fortfuhr. Darauf wandte ich das Auge schnell auf ein
»rundes wohl gegen 20 Quadratzoll haltendes Stück sonst brennend
»rothes Papier. Das ganze Papier erschien im tiefsten Indigo-
»blau, doch, und ganz entwickelt, erst nach einiger Zeit, denn im
»ersten Augenblicke war ich blind.« Dieses Blau verwandelte sich ganz allmälig, von Aufsen herein, in Roth, nur in der Mitte »blieb,
»nach 5 oder auch erst 10 Minuten und später, endlich ein blauer
»Fleck von etwa 3 bis 4 Linien Durchmesser zurück, der nun keiner
»weiteren Reduction mehr fähig schien, die schnell vor sich gegangen
»wäre.... Ich wiederholte den Versuch mit dem anderen Auge, um
»auf Blau zu sehen. Hier kostete es aber mehr Mühe, wie vorhin,
»um auf ein scharfes Resultat zu kommen.... Ich sah das (blaue)
»Papier, nach einer ähnlichen kurzen Pause des Gar-nicht-sehens, wirk-
»lich Roth, aber bei weitem nicht in der Höhe, wie vorhin das
»rothe Blau; es war etwa hoch Rosa.... Die Veränderungen,
»welche ein so starkes und anhaltendes Licht im Auge bewirkt, sind
»von ziemlicher Dauer, und der Organismus mufs sie nicht so leicht
»wieder heben können.... Mehrmals ist es mir in den ersten Tagen
»nach den Versuchen begegnet, dafs ich, mit anderen Dingen beschäf-
»tiget, erschrocken bin, wenn ich die Flamme am Licht, das Feuer
»auf dem Heerde oder im Ofen .... im schönsten Blau des brennenden
»Schwefels erblickte.... Noch jetzt, nunmehr über 3 Monate nach
»der Anstellung jener Versuche, habe ich in jedem Auge eine Stelle,

»die anfängliche, mit der mir alles Gelbe und Rothe Blau, alles Blaue »Roth oder Gelbroth erscheint, doch nur noch schwach, so dafs es »sehr verdünnte Farben sind, und ich mehrere Sekunden auf den Ge»genstand hinsehen und aufmerken mufs, ehe sich das jedesmalige Bild »entwickelt.« [1]

Ich habe geglaubt, es der wahrhaft einzigen Aufopferung ihres Urhebers schuldig zu sein, dafs ich von diesen Versuchen, denen Ritter noch ins Unbegrenzte nachgeht, wenigstens eine leichte Andeutung gäbe; es unentschieden lassend, in wie weit der Zusammenhang, den er selbst ihnen mit dem Umschlagen der elektrischen Gesichtserscheinungen bei hohen Stromstärken zuschreibt, in der Wirklichkeit begründet sei oder nicht. Gewifs wird man mir beistimmen, wenn ich aufs tiefste beklage, dafs dieses rastlose Suchen, diese Alles besiegende Leidenschaft eines Ritter der klaren Leuchte der Methode und jeder ächten naturwissenschaftlichen Einsicht entbehrten, mit denen vereint sie uns mit dem Gröfsten würden haben beschenken können. Nicht leicht läfst sich ein lehrreicherer Gegensatz denken, als derjenige, auf den wir jetzt stofsen, indem wir, bei Abwärtsverfolgung der Untersuchung in der Zeit, uns nunmehr zu Purkinje's Beobachtungen über die galvanischen Lichtfiguren wenden, eines Forschers, der an Uebung im Beschauen seines dunklen Sehfeldes sich wie mit Jedem wohl mit Ritter messen durfte, an Unbefangenheit ihn weit übertraf. Aus der Fülle wunderbarer Eigenthümlichkeiten, welche die reine Beobachtung der Dinge wie sie sind im Verhältnisse zu Ritter's geripphaftem Schematismus uns alsbald vorführt, lernen wir abermals den Nachtheil erkennen, der jederzeit daraus erwächst, wenn wir die blassen Bilder unserer nur mit dem Erfahrenen wuchernden Einbildungskraft an die Stelle der noch unentfalteten stets überraschend reich gefärbten Wirklichkeit zu setzen uns vermessen. Wir folgen der letzteren der unten angegebenen Quellen. [2]

»Brachte ich .... den Leiter des Kupferpols [3] in den Mund und »berührte mit dem Leiter des Zinkpols den Augapfel, so erschien in

[1] Beiträge u. s. w. A. a. O. S. 175—181. §. 98. 99. — Vergl. Newton's ähnliche Versuche in Sir Isaak Newton's Leben nebst einer Darstellung seiner Entdeckungen von Sir David Brewster. Uebersetzt von Goldberg. Leipzig 1833. S. 263.

[2] Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. Bd. I. Beiträge zur Kenntnifs des Sehens in subjectiver Hinsicht. Prag 1819. S. 50. — Kastner's Archiv für die gesammte Naturlehre. 1825. Bd. V. S. 434. — Beobachtungen und Versuche u. s. w. Bd. II. Neue Beiträge u. s. w. Berlin 1825. S. 31.

[3] Der Kupferpol ist bei Purkinje der positive, der Zinkpol der negative der Säule, die man sich also beiderseits durch ein halbes Element begrenzt zu denken

»dem früher finstern Gesichtsfelde an der mir sonst wohlbekannten Ein-
»trittsstelle des Sehnerven eine hellviolette lichte Scheibe; im Achsen-
»punkte des Auges war ein rautenförmiger dunkler Fleck, mit einem
»rautenförmigen gelblichen Lichtbande umgeben, darauf folgte ein glei-
»ches finsteres Intervall und noch ein etwas schwächer leuchtendes
»gelbliches Rautenband; die äufserste Peripherie des Gesichtsfeldes aber
»deckte ein schwacher, lichtvioletter Schein, der, wie man das Auge
»rollte, abwechselnd an einzelnen Stellen heller wurde.... Hob ich
»die Berührung auf, so kehrten sich die Farben um. Wechselte ich
»die Pole, brachte ich den Kupferpol ins Auge und den Zinkpol in
»den Mund, so kehrten sich die Farben, so wie auch die Licht- und
»Schattenpartieen um. Am Eintrittsorte des Sehnerven war ein finste-
»rer, kreisrunder Fleck, mit einem hellvioletten Scheine umgeben, der
»als ein hellviolettes Rautenband gegen die Mitte des Gesichtsfeldes auf-
»und niederstieg, und sich mit zwei convergirenden Schenkeln auf der
»entgegengesetzten Seite schlofs; diesem nach innen war ein finsteres
»Intervall und im Achsenpunkte des Sehfeldes eine glänzende, hellvio-
»lette Rautenfläche.... Diese Figur, so wie auch die vorige erscheint
»jedesmal am lebhaftesten beim Eintritte der Berührung, ist während
»ihrer Andauer, wenn die Leitung nicht auf irgend eine Weise unter-
»brochen wird, nur schwer zu bemerken, und erscheint auf einen
»Augenblick mit entgegengesetzten Licht- und Farbenstellen bei der
»Trennung wieder.« (S. 35. 36. S. hiezu a. a. O. Taf. I. Fig. 4 und 5.)
Die Intensität bei Anwendung des Kupferpoles, also bei aufsteigendem
Strome, sei ungleich gröfser als die beim Zinkpole (S. 33). »Das
»Lichtviolett ist in dieser Erscheinung« — der des Kupferpoles nach
Purkinje — »gesättigt und den Grund vollkommen deckend, das gelb-
»liche Licht hingegen erscheint, selbst bei den stärksten Entladungen,
»nur wie der Ueberzug eines schwachen Firnisses, wie wenn eine gelbe
»Saftfarbe auf schwarzen Grund aufgetragen würde.« (S. 36.) [1]

Purkinje wirft Ritter vor, dafs er sich habe durch einen ver-
meintlichen Gegensatz zwischen den Enden des objectiven Sonnen-
spectrums imponiren lassen, und unbekannt mit den wirklichen dem
Auge innewohnenden, und zum Farbenkreise verschmelzenden Gegen-

hat. In dem Aufsatze des Archives sind die Bezeichnungen umgekehrt und alsdann der Ritter'schen unmittelbar entsprechend.

[1] Vergl. über diese Erscheinungen auch Most, Ueber die grofsen Heilkräfte des in unseren Tagen mit Unrecht vernachlässigten Galvanismus, nebst einigen näheren Bestimmungen über mein neues Heilmittel der Epilepsie. Lüneburg 1823. S. 812; — Hjort, de Functione Retinae nervosae. Particula secunda. Christianiae 1830. (Inaugural-Dissertation) p. 31. §. 17.

sätzen, auf welche etwas später erst Goethe wieder aufmerksam machte, die complementären Farben Gelb und Violett verkannt habe (S. 32. 33). Dagegen kommen seine Beobachtungen allerdings in zwei wesentlichen Punkten mit denen Ritter's überein. Auch er bemerkte eine flüchtige Umkehr der Erscheinungen im Augenblick der Oeffnung der Kette. Es ist auffallend, dafs ihm, der mit allen subjectiven Gesichtswahrnehmungen so innig vertraut war, die wichtige Uebereinstimmung nicht aufgestofsen ist, die zwischen dieser Umkehr und den gewöhnlichen Nachbildern augenscheinlich obwaltet. Das elektrische Violettsehen zieht ebensowohl ein nachmaliges Gelbsehen nach sich, als das anhaltende Fixiren einer gesättigten violetten Farbe; das elektrische Gelbsehen umgekehrt ebensowohl einen violetten Schein, als das Betrachten lebhaft gelb gefärbter Blüthen in der Dämmerung u. d. m. Purkinje überzeugte sich aber ferner von dem Einflufs des entwickelten subjectiven Lichtes auf die Färbung äufserer Gegenstände. Durch die Ueberziehung der Stelle des directen Sehens mit solchem Lichte versucht er Ritter's Behauptung des Undeutlichersehens bei aufsteigendem Strome zu erklären, umgekehrt die des Deutlichersehens bei absteigendem Strome durch die Befreiung des Achsenpunktes, wo alsdann der dunkele rautenförmige Fleck erscheine, von subjectivem Lichte (S. 40. 41).

Es findet bei Purkinje, wie anderwärts für den Geschmack (S. oben S. 287 Anm. 2), so auch für den Gesichtssinn entfernterweise der Zweifel statt, ob nicht die Erscheinungen, statt wirklich von der elektrischen Reizung des Sehnerven und seiner Ausbreitung durch den Strom, vielmehr von einer mechanischen Zusammendrückung des Augapfels herrühren, die durch Zusammenziehung der verschiedenen Gebilde desselben hervorgebracht würde. In der That erinnern die Rautengestalten um den Axenpunkt des Auges herum an die von Purkinje selbst in seinen ersten »*Beiträgen*« (A. a. O. S. 22) beschriebene Druckfigur. Diese Ansicht, womit, bei dem heutigen Stande der Nervenphysik, ebensowenig etwas gewonnen sein würde, als mit der elektrolytischen Theorie des elektrischen Geschmacks, erscheint noch überdies ebenso unhaltbar als diese, wenn man die Verschiedenheit der positiven und negativen galvanischen Lichtfigur erwägt, welche, wie die Bilder im Polarisationsapparat, einander ergänzen. An die Augenmuskeln ist begreiflich hier, um jenen Druck auszuüben, nicht zu denken, da die Bilder beständig sind, die Zusammenziehung der Muskeln aber nur zu Anfang und zu Ende des Stromes stattfindet; die sonstigen der Zusammenziehung fähigen Gebilde im Innern des Augapfels aber, denen man, gleich der Regenbogenhaut, organische Muskelbewegung zuzuschreiben berechtigt sein würde, sind wohl zu schwach, um ihnen solche Wir-

kungen beizumessen. [1] Dafs übrigens, bei diesen Versuchen, ja sogar schon bei Anwendung blos der einfachen Kette, wirklich Zusammenziehung des Sehlochs beobachtet werde, wissen wir durch Fowler, welcher Folgendes erzählt. »Ich bat .... einige meiner Freunde, auf »meine Pupille Acht zu geben, indem ich den oben beschriebenen Ver»such« — Einschieben eines silbernen Stabes in die Nase soweit hinauf als möglich und Verbindung desselben mit Zink, womit die Zunge belegt war — »wiederholte. Wenn das äufsere Licht stark war, so »fanden sie einige Schwierigkeit, genau zu bestimmen, ob die Pupille »sich zusammenzöge, oder nicht. Wenn aber nicht mehr Licht zuge»lassen wurde, als gerade hinlänglich war, um die Pupille zu erken»nen, so bemerkten sie ein sehr deutliches Zusammenziehen, so oft als »die Metalle in Berührung mit einander gebracht wurden. Dieser Ver»such erfordert einige Aufmerksamkeit, damit er befriedigend ausfalle; »aber ohnerachtet ich ihn sehr vielmal an den Augen Anderer wieder»holt habe, so mifslang er doch selten, wenn er bei stetem Licht ge»macht, und wenn das Silber weit genug in die Nase hineingebracht »wurde.« [2] Auch Magendie hat, bei Behandlung eines Amaurotischen mittelst der auf die Ausbreitungen des Trigeminus gerichteten Elektropunctur Zusammenziehung der Pupille wahrgenommen. Eine Stahlnadel war in den N. frontalis, eine andere in den Maxillaris superior versenkt, und durch dieselben wurde der Kreis einer zwölfgliedrigen Säule, deren Platten 6″ Seite hatten, geschlossen. Nach Becquerel's Bericht zu urtheilen, der mir allein vorliegt, da er die Quellen anzugeben versäumt, wurde dabei der elektrische Blitz für eine bereits auf Heilung deutende Einwirkung des objectiven Lichtes angesehen: »A l'instant du »contact, le malade éprouva une commotion douloureuse dans le trajet »du nerf, la lumière l'affecta visiblement, et la pupille se contracta.« [3] Dieser Umstand scheint leider Purkinje's Aufmerksamkeit entgangen zu sein; ich habe seiner ausführlich gedacht, weil er vielleicht am ehesten einige der Ritter'schen Behauptungen deuten zu helfen geeignet sein möchte. Es liegt in der That nahe, anzunehmen, dafs mit der Iris

[1] Ueber die Reaction der Iris auf den elektrischen Strom s. Eduard Weber in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Bd. III. Abth. II. Artikel »Muskelbewegung« S. 31 ff. — Herr Professor Weber hat die ausnehmende Gefälligkeit gehabt, mir einen Abdruck dieser wichtigen Abhandlung auf meine Bitte sogleich während der Correctur mitzutheilen, wodurch ich in Stand gesetzt bin, mich noch vor dem Erscheinen derselben auf manche Punkte ihres reichen Inhalts zu beziehen.

[2] Al. Monro's und Rich. Fowler's Abhandlung u. s. w. S. 118. 119.

[3] Traité expérimental etc. t. IV. p. 312.

auch der innere zur Einrichtung des Auges für verschiedene Entfernungen dienende Bewegungsapparat eine Veränderung durch den Strom erfuhr, welche von Einfluſs auf das Deutlichsehen äuſserer Gegenstände sein könnte.

Etwas der von Ritter dem Zinkpol zugeschriebenen verkleinernden Wirkung auf äuſsere Gesichtsgegenstände, während der Kupferpol vergröſsernd wirken sollte, Aehnliches, vermochte Purkinje selbst bei den kräftigsten Entladungen nicht wahrzunehmen (S. 49. 50).

Von nicht geringer Wichtigkeit für uns an dieser Stelle ist endlich Purkinje's Bemerkung über den durchaus gröſseren Glanz der Erscheinung bei aufsteigender Strömungsrichtung in dem Sehnerven, welche, wie man sieht, auch mit Pfaff's ursprünglicher Beobachtung übereinstimmt. Most bestätigt dieselbe; er setzt das Verhältniſs des Durchmessers der leuchtenden Fläche in diesem Falle zu dem bei absteigendem Strome wie 5 : 3. [1] Sollte die Ritter'sche Tabelle über die Zuckungen (S. oben S. 319) der Wirklichkeit entsprechen, so würde also, für die Bewegungsnerven, in dem dem unversehrten Leben am nächsten kommenden Zustande der Erregbarkeit, das umgekehrte Gesetz der Erregung obwalten, wie für den Geschmacks- und den Sehnerven während des Lebens selbst; denn hier entspricht die stärkere Wirkung derjenigen Strömungsrichtung, welche mit der darauf folgenden Richtung des sogenannten Nervenprincipes übereinkommt, während dort dem absteigenden Strome die geringere Erregungsgröſse zukommen würde. Geruch und Gehör werden wir, wegen der Mangelhaftigkeit der sie betreffenden Aussagen, wohl thun, bei diesem Vergleiche gänzlich aus dem Spiel zu lassen: sehen wir daher jetzt schlieſslich zu, wie die Erscheinungen an den Gefühlsnerven sich gestalten mögen.

### e. Gefühl.

Bereits Michaelis bemerkt, in seinem physiologischen Briefe an v. Humboldt, daſs bei seinen Versuchen an Blasenpflasterwunden, deren er sich eine auf dem Biceps, die andere auf dem Vorderarm angelegt hatte, das Zucken in den Nerven (?) — in den Muskeln sah er nichts und fühlte auch keine Bewegung — immer nur in der Nähe der Wunde stattfand, auf der das Gold oder die Kohle lag, nie wo das Zink lag, das Gold mochte auf der oberen oder auf der unteren Wunde liegen. Die Empfindungen gingen meist nach unten, nie nach oben, und waren, wenn das Gold nicht an der oberen Wunde lag, nie zwischen

[1] Ueber die grofsen Heilkräfte des Galvanismus u. s. w. S. 82.

beiden Wunden fühlbar.[1] Und Michaelis bemerkt ausdrücklich den Unterschied, der zwischen der Wirkung der Metalle in diesem Falle und in dem des elektrischen Geschmacks sich zeigt (S. 17).

In seinem Brief an Banks sagt Volta: »Une chose que je dois »encore faire remarquer, c'est que toutes ces sensations de picotement »et de douleur sont plus fortes et plus aigues, les autres choses égales, »lorsque la partie du corps qui doit les ressentir se trouve du coté »de l'électricité négative, c'est-à-dire, placée de manière dans le cercle »conducteur, que le fluide électrique parcourant ce cercle ne soit pas »dirigé contre cette partie sensible, qu'il ne s'avance pas vers elle et »y entre de dehors en dedans, mais bien que sa direction soit de »dedans en dehors, en un mot, qu'il en sorte....«[2]

Ritter, der die hiehergehörigen Versuche ins Unendliche vermannigfacht und auf die zarteren Gefühlsnerven, an Zunge, Nase, Lippen, Ohren, Auge, ja Penis schonungslos ausgedehnt hat,[3] läugnet zwar die verschiedene Stärke der Schläge, aber nur in dem Sinne, dafs der Unterschied nicht einer dem Grade, sondern der Qualität nach sei; und er stützt sich dabei ganz sinnreich auf die Wahrnehmung, deren Richtigkeit ich dahingestellt sein lasse, dafs, bei abnehmender Stärke des Stromes, beide völlig gleichzeitig verschwinden.[4] Jenen Unterschied in dem Wesen der Schläge und der Empfindungen an den Polen der Säule nach Ritter, zeigt die folgende Tabelle.

[1] Gren's Neues Journal der Physik. 1797. Bd. IV. S. 12. 13. 16.*

[2] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. II. p. 120.*

[3] S. Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VII. S. 454—461;* vorzüglich aber die diesem Gegenstand allein gewidmete Abhandlung in seinen Beiträgen u. s. w. Bd. II. St. 2. 1802. S. 1—158; — sodann ebendas. St. 3. 4. 1805. S. 162. §. 88. 89;* — und Voigt's Magazin u. s. w. 1805. Bd. IV. S. 583.*

[4] Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 2. S. 16.*

V.

| Gefühl. | Aufsteigender Strom. | Absteigender Strom. |
|---|---|---|
| Schliefsung. | Schlag scheinbar schwächer, expansiv. | Schlag scheinbar stärker, contractiv. |
| Während der Schliefsung. | Expansion (Erection).[1] Wärme. Erhöhte Beweglichkeit. | Contraction. Kälte. Abgang von Beweglichkeit. |
| Oeffnung. | Schlag scheinbar stärker, contractiv. | Schlag scheinbar schwächer, expansiv. |
| Nach der Oeffnung. | Contraction. Kälte. | Expansion. Wärme. |

Unter Expansion und Contraction versteht Ritter nicht allein die subjective Wahrnehmung, die sich am besten unter diesem Bilde schildern liefse, sondern er behauptet auch geradehin, dafs z. B. die Hand, die Zunge, die Lippen, an der Zinkseite der Batterie nach etwa der Hälfte einer Viertelstunde wirklich anschwellen, an der Silberseite hingegen einschrumpfen. Es soll dabei, seinen naturphilosophischen Constructionen nach, die Contraction der vorzugsweisen Reaction der Beuger auf den aufsteigenden, die Expansion der der Strecker auf den absteigenden Strom entsprechen. Was es mit der Veränderung der »Beweglichkeit« in seinen Aussagen möglicherweise auf sich habe, werden wir unten in Erfahrung bringen. Die Empfindungen von Kälte und Wärme betreffend, so sind sie, im Allgemeinen, gar nicht zu bezweifeln. Schliefst man den Kreis einer 150paarigen Zinkkupfersäule, die mit Salmiaklösung aufgebaut ist, indem man die Hände in Becken mit Kochsalzlösung taucht, so empfindet man, während der ganzen Dauer

[1] Vergl. Most a. a. O. S. 120.* — Most's Angaben halte ich indefs keineswegs für verläfslich, da er z. B. keinen Anstand nimmt zu berichten, dafs eine Katze »20 Minuten lang einer galvanischen Strömung von + *G* ausgesetzt« (?) im Dunkeln mit einem blauen Lichte gleich der Farbe der Kornblume geleuchtet habe, eine ebensolange der Strömung von — *G* preisgegebene, mit einem blafsröthlichen Lichte, und darauf die Erzählung eines Vorfalls gründet, die seiner Einbildungskraft ebensowenig Ehre macht als seiner Wahrheitsliebe. A. a. O. S. 149. 150.*

des Stromes, aufser der tiefen Angst und Beklemmung, dem Schneiden und Brennen in den Händen u. s. w., Fluthen von Wärme und Schauer von Kälte die Arme bis zur Schulter hinauf abwechselnd anhauchen oder überrieseln; dafs der eine Arm vorzugsweise Wärme, der andere Kälte empfinden sollte, ist mir bei Gelegenheit dieser Wahrnehmungen, wobei meine Aufmerksamkeit aber auf andere Dinge gerichtet war, allerdings nicht aufgefallen, möglicherweise jedoch nur aus dem Grunde, dafs ich mit der Stromstärke gerade auf den Indifferenzpunkt in dieser Hinsicht gestofsen war, von dem sogleich die Rede sein wird. Ich bemerke dieses deshalb, weil man die Wirklichkeit dieser Erscheinungen in jetziger Zeit, wo die Versuche an vielgliedrigen Säulen fast ganz abgekommen sind, nicht selten ganz und gar bezweifeln hört, während doch hier in der That überall eine reiche Fundgrube sehr wichtiger subjectiver Erfahrungen offen liegen dürfte. [1]

Beim Gefühle ist es Ritter angegebenermafsen wieder geglückt, durch Verstärkung des Stromes die Umkehr der Erscheinungen zu erzwingen. »Ich sowohl, als die, welche meine Versuche wiederholten,« sagt Ritter, »hatten zu diesen Beobachtungen nur schwache Säulen »angewandt; mir namentlich gelangen sie am besten mit Säulen von »80 bis 100 Lagen, deren Pappen blos mit Wasser getränkt waren. »Bei Säulen mit Kochsalz von eben der Gröfse waren die beiden Ge»fühle von Wärme und Kälte, nur selten eben so deutlich, und noch »seltener, wenn die Säule dieser Art noch gröfser war. Gewöhnlich »wurde hier der Unterschied fast ganz Null, und von Wärme und »Kälte war überhaupt nichts Deutliches zu bemerken und zu unter»scheiden.« Dies soll nämlich der Zustand sein, der dem Grünsehen

[1] Man höre auch, was Reinhold in Gilbert's Annalen der Physik. 1802. Bd. XI. S. 378. 379. Anm. c* sagt: »Die schönen Ritter'schen Versuche über die »durch Galvanismus bewirkte Affection der Sinnesorgane liest und hört man zwar »oft wiederholt, aber fast immer wird wenigstens einzelnen davon widersprochen. »Die Ursach hievon kann wohl keine andere sein, als dafs Personen sich diesem »Geschäfte unterzogen, welche, ohne gehörige Kunde vom Galvanismus, ohne einen »vertrautern Umgang mit der Batterie zu haben, aus einzelnen Versuchen über Ge»genstände urtheilten, deren feinere, nicht Jedem sogleich wahrnehmbare Nuancirun»gen nur dem geübten Experimentator bemerkbar sind. Auch ich habe diese Ver»suche alle in Gesellschaft hiesiger und auswärtiger Gelehrten mehrmals wiederholt, »und in allem mit der Ritter'schen Beschreibung völlig übereinstim»mend gefunden. Diese offene Erklärung glaubte ich theils der Wahrheit schul»dig zu sein, theils in dieser allgemein gelesenen Zeitschrift niederlegen zu müssen, »um vielleicht manchem eine so mühsame Wiederholung zu ersparen, oder doch »hierbei Behutsamkeit und Mifstrauen gegen abweichende Resultate zu empfehlen.« — Vergl. auch Pfaff ebendas. 1801. Bd. VII. S. 252. 253,* der jedoch später seine Aussagen bedingt hat (S. oben S. 283).

in den Versuchen am Auge, wie auch der neutralsalzigen Nuance in den Geschmacksversuchen entspricht. »Wandte ich aber Säulen mit »Salmiak gebauet von 100 und mehr Lagen an, und befeuchtete auch »die Finger mit gut leitender Flüssigkeit ... so war allerdings wieder »ein Gefühl von Wärme und Kälte da, und sogar stärker als sonst »wo, aber die Vertheilung beider Gefühle war die gänzlich umgekehrte »von der vorigen. Die Kälte war, statt vorhin am negativen, jetzt »am positiven, und die Wärme, statt vorhin am positiven, jetzt »am negativen Pole. Es ist nicht leicht möglich, dafs Jemand die»sen Versuch, wie er hier beschrieben ist, wiederhole, ohne den an»gegebenen Erfolg; er ist constant.... Trennt man nachgehends »den Kreis, so geht die Kälte auf eine kurze Zeit in Wärme, die »Wärme auf eben so kurze Zeit in Kälte über; hierauf wechseln die »Gefühle von neuem: den am positiven Pole der Säule gewesenen Fin»ger ... überfliegt eine schwache Kälte, den am negativen gewesenen »eine schwache Wärme, und der Erfolg des Versuchs endigt, als »wäre dem Finger ... nur, was« [in der Tabelle, unter der Voraussetzung geringerer Stromeskräfte,] »erzählt ist, widerfahren.« — [1]

Da der Eintritt und der Austritt des Stromes von Zuckungen begleitet sind, so bleibt es nach dem Mitgetheilten zweifelhaft, ob nicht vielleicht die gröfsere Schmerzhaftigkeit des Schlages in den absteigend durchströmten Gliedmafsen von der hier möglicherweise gröfseren Stärke der Zuckungen herrühre, eine Annahme, welche allerdings nicht mit dem Ritter'schen Gesetze der Zuckungen übereinkommen würde. Indessen erweist sich dieselbe als überflüssig; vielmehr ergiebt sich, abgesehen von Michaelis Zeugnifs, aus dem Zusammenhang von Volta's Rede klar, dafs er reine Empfindungen während der Fortdauer des Stromes in beständiger Gröfse meint, denen er eine gröfsere Heftigkeit auf der negativen Seite zuschreibt; und bei Ritter finden sich ebenso, obgleich er selbst jenen Unterschied nicht zu machen gewufst hat, eine Menge Aussagen, aus welchen, weil gar keine Muskeln zuckten, mit aller Bestimmtheit das ausgesprochene Ergebnifs hervorgeht. Es wird dasselbe noch sogleich durch einen Versuch Marianini's von Neuem bekräftigt erscheinen; und endlich ist es sehr leicht, sich selbst davon bei Anwendung solcher Stromeskräfte zu überführen, welche über die Finger hinaus keine Empfindungen mehr hervorzubringen im Stande sind.

[1] Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. S. 164—166. §. 92. * — Gilbert's Annalen der Physik. 1805. Bd. XIX. S. 9. *

### *B.* Marianini's *vereinigtes Gesetz der elektrischen Zuckungen und Empfindungen.*

Die Frage nach dem Verhalten der Gefühlsnerven führt uns auf Marianini zurück, der, wie bemerkt, den Gedanken gefafst hatte, sie durch objective Versuche zur Entscheidung zu bringen. Auch einen solchen hatte übrigens bereits Pfaff angestellt. Er richtete einen lebenden Frosch so zu, dafs der Rumpf nur noch durch die Nerven mit den Bauchgliedern zusammenhing. »Wenn ..... durch den auf die »Cruralnerven wirkenden Metallreiz Zuckungen in den hinteren Gliedmafsen erregt wurden, verkündigte der Frosch den schmerzhaften »Eindruck der Metalle durch die gröfste Unruhe und die lebhaftesten »willkürlichen Bewegungen, und er konnte auf diese Art lange Zeit »hindurch aus der Ruhe, in die er gewöhnlich gleich wieder versank, »und die er, wenn er nicht gereizt wurde, nur selten unterbrach, wie»der gerissen, und zu gewaltsamen Verdrehungen seines ganzen Kör»pers veranlafst werden. Auch alsdann, da ich einen Cruralnerven »dicht an den Muskeln unterband, und auf diese Art das Entstehen »der Zuckungen in seiner Gliedmasse hinderte, verkündigte jedesmal »der Frosch den heftigen Schmerz, den er bei der Berührung der Zink»armatur dieses Nerven durch eine an den Schenkel angebrachte Sil»bermünze fühlte, durch aufserordentliche Verdrehungen aller seiner »Gliedmafsen, des Kopfes, der Augen.« [1] Leider sagt Pfaff nicht, wie der Frosch die entgegengesetzte Vertheilung der Metalle empfand.

[1] Ueber thierische Elektricität u. s. w. S. 148. 149. Merkwürdig ist folgender Zusatz: »Bei häufiger Wiederholung dieses Versuches sahe ich jedesmal im Augen»blick der Berührung beider Metalle schwache Zuckungen längst dem Rückgrade »hinauf entstehen, die sich sogar oft bis in die Arme erstreckten, und die ganz un»terschieden von den heftigen willkürlichen Bewegungen, die erst eine kurze Zeit »nach der wechselsweisen Berührung beider Metalle erfolgten, zu sein schienen.... »Diese Zusammenziehungen zeigten sich nicht, wenn der Cruralnerve »nicht unterbunden war....« Ebendas., S. 149. 150. Einen ähnlichen Versuch habe Fowler. Vergl. Al. Monro's und Rich. Fowler's Abhandlung u. s. w. S. 126. » Wenn nach geschehener Zerschneidung eines frisch getödteten Frosches, »am Becken die Hüftnerven von der Zellhaut, hinaufwärts nach ihrem Ursprung »aus dem Rückgrad, befreiet, und alle Theile unterhalb desselben, nur sie selber »ausgenommen, weggeschnitten werden; so können die Muskeln auf beiden Seiten »des Rückgrads, ein wenig höher hinauf, zum Zusammenziehen gebracht werden, »wenn man blos die Nerven mit den beiden aneinanderstofsenden Metallen berührt. »Dieser Versuch glückte mir nicht immer; und nur dann, wenn der Frosch frisch »getödtet war. So lange als die Hinterschenkel von den Nerven unzertrennt blie»ben, gelang er niemals; blofs in den Schenkeln entstand ein Zusammenziehen.«

Die hier beschriebene absteigende entspricht der wirksameren in Michaelis, Ritter's und Volta's Versuchen.

Marianini sucht zunächst die Schlüsse, die man aus dieses Letzteren, ihm wohl bekannten Erfahrungen von vorn herein gegen seinen Versuchsplan zu ziehen geneigt sein könnte, durch die Betrachtung zu entkräften, dafs die lebhaftere Empfindung in Wunden wohl von den sich am negativen Pol ansammelnden Zersetzungsproducten herrühren dürfte. Allein er irrt sich offenbar, indem er Volta's Aussage allein auf den Schmerz an verletzten Hautstellen bezieht. Volta sagt im Gegentheil ausdrücklich: »toutes ces sensations de picotement et de douleur etc.,« und ganz allgemein: »la partie du corps qui soit les ressentir etc.«

Marianini selbst bereitete einen Frosch auf dieselbe Weise zu, wie dazumal Pfaff. Die Füfse wurden mit dem negativen Ende einer zehnelementigen mit schwacher Kochsalzlösung geladenen Säule in ein Gefäfs, die Arme mit dem positiven Ende derselben in ein anderes getaucht; der Strom war also absteigend. Bei der Schliefsung zuckten die Schenkel, allein der Frosch verhielt sich ruhig, obwohl die Kette 20″ geschlossen blieb. Jetzt ward der Strom umgekehrt. Beim Schliessen entstand eine viel schwächere Zuckung wie vorher, kaum aber waren ein Paar Augenblicke verstrichen, so traten Athmungsbeschwerden ein, das Thier blähte sich auf und zog sein rechtes Bein aus dem Gefäfse. Beim Oeffnen zuckten die Schenkel, und es schien beruhigt. Ein zweites Mal dauerte die absteigende Schliefsung eine Minute, und nichtsdestoweniger schien der Frosch nicht davon zu leiden; bei der aufsteigenden Richtung hingegen zeigten sich dieselben Schmerzbezeugungen u. s. f. Einigemal war die Oeffnung bei absteigendem Strome von dergleichen begleitet. Man könne auch blofs den oberen Theil eines der Ischiadnerven entblöfsen, ihm eine dünne Siegellackscheibe unterschieben, und ihn an zwei Punkten mit feinen Zinnstreifen versehen, die man mit dem Elektromotor in Verbindung bringt. Bei dieser Anordnung kehrten sich jedoch die Erscheinungen um. Der absteigende Strom gäbe den Schmerz, der aufsteigende die Zuckung allein. Marianini erklärt dieses scheinbar sehr störende Ergebnifs dadurch, dafs z. B. der absteigende Strom seinen Weg nicht blofs durch die zwischen den Zinnstreifen begriffene Nervenstrecke, sondern auch nach oben, dann unterhalb der Siegellackplatte, und nun wieder aufsteigend

Man ist natürlich geneigt an Reflexbewegungen zu denken; aber was soll alsdann die seltsame Bedingung der aus ihrer Verbindung mit dem Centralnervensystem gerissenen peripherischen Ausbreitung?

im Nerven zum unteren Zinnstreifen nehme; mit welchem Rechte, wollen wir unentschieden lassen. Uebrigens seien diese Erscheinungen unter allen Umständen schwer und unsicher wahrzunehmen.

Einen besonderen Werth legt MARIANINI auf folgenden Versuch: Ein kräftiger, auf die erste Art zugerichteter Frosch ward an dem einen Vorder- und an beiden Hinterbeinen mit einem Bleistreifen als Zuleiter versehen, der Vordertheil auf Glas gelegt, und der Hintertheil isolirt in der Schwebe erhalten. Bei sonst vollkommener Ruhe des Frosches zeigten sich nun bei der Schliefsung des absteigenden Stromes Zuckungen, bei seiner Oeffnung stiefs das Thier einen anhaltenden Schrei aus vollen Kräften aus, und wand sich auf den Vorderfüfsen; die Hinterfüfse blieben in Ruhe. Bei aufsteigendem Strome hingegen folgten der Schliefsung zwei, drei, ja vier ähnliche Schreie, wenn die Kette längere Zeit geschlossen gehalten wurde; die Oeffnung brachte eine Zuckung zu Wege und beruhigte das Thier. Dies ward, mit steigenden Stromeskräften, erst an einem, dann drei und acht Plattenpaaren, zehn- bis zwölfmal hintereinander beobachtet.

MARIANINI zieht daraus folgenden Schlufs: »Das Eintreten des absteigenden Stromes bringt Zuckung, sein Austritt Schmerz, das Eintreten des aufsteigenden Stromes bringt Schmerz, sein Austritt Zuckung hervor.« (Ibid. p. 254. 256.)

Nimmt man an, dafs dies Gesetz und das RITTER'sche richtig seien, so läge es aufserdem am Tage, dafs die Abweichung der subjectiven Erfahrungen für das Gefühl an der Säule von den MARIANINI'schen Thatsachen so zu deuten wäre, dafs auch für das Gefühl, wahrscheinlich aber noch leichter und schneller als für die Bewegung, nach der Blofslegung und der Mifshandlung der Nerven, welche stets auch die sorgsamste Zurichtung mit sich bringt, eine Umkehr des Gesetzes einträte. Allerdings müfste PFAFF alsdann so glücklich gewesen sein, noch den normalen Zustand der Gefühlsnerven, oder einen ihm sehr nahen anzutreffen, denn es ist nicht zu denken, dafs er nicht die entgegengesetzte Vertheilung der Metalle, den aufsteigenden Strom versucht haben sollte, dessen Wirkungsweise er vermuthlich nur defshalb unerwähnt läfst, weil er sie der des absteigenden Stromes gleich, oder geringer fand, als sie.

In einer kurze Zeit darauf erschienenen Arbeit kommt MARIANINI auf den Umstand zurück, dafs die Erschütterungen am negativen Pole der Säule stärker als am positiven sind, und sucht ihn aus folgendem, bereits in der erstangeführten Arbeit aufgestellten, jedoch von uns übergangenen Grundsatze abzuleiten. — Es gebe zwei Arten elektrischer Zuckungen, idiopathische, die durch unmittelbare Einwirkung des

Stromes auf die Muskeln, und sympathische, die durch seine Einwirkung auf die Nerven vermittelt werden. Die ersteren erfolgten, welches auch die Richtung des Stromes sei, die letzteren einzig bei absteigendem Strome. (Ibid. 247.) Gehe also der Strom von einer Hand zur anderen, von einem Fufs zum anderen, oder von einer Hand zu einem Fufse, so sei der Schlag stärker in dem Gliede, welches absteigend getroffen werde; so auch stärker von der Schulter zur Hand, oder vom Schenkel zum Fufs, als umgekehrt; weil in diesen Fällen die idiopathischen mit den sympathischen Zuckungen sich vereinigten, um die Stärke des Schlages zu verdoppeln. Stecke man das erste Glied eines Fingers in ein Gefäfs, worin das positive Ende eines Elektromotors von 25 — 30 Plattenpaaren taucht, und schliefse man den Kreis, indem man den negativen Pol mit einem in der anderen Hand gehaltenen Cylinder berühre, so erstrecke sich die Zuckung nur bis ans letzte Gelenk; bei umgekehrter Strömungsrichtung hingegen gehe der Schlag bis zum Handfingergelenke. Auch diesen Unterschied sucht Marianini auf seine Vorstellung von idiopathischen und sympathischen Zuckungen zurückzuführen, [1] ohne zu bedenken, dafs, da die Finger keine Muskeln enthalten, hier von keinem von beiden die Rede sein könne. Der angeführte Versuch ist der oben S. 358 noch versprochene, aus dem sich abermals mit Bestimmtheit ergeben sollte, dafs die stärkeren Empfindungen auf der negativen Seite nicht von den hier vielleicht überwiegenden Muskelschmerzen herrühren. Was die von Marianini getroffene Eintheilung der elektrischen Zuckungen in idiopathische und sympathische betrifft, so liegt ihre Unstatthaftigkeit auf der Hand. Noch haben wir durchaus keinen Grund, unmittelbare Anregung zur Bewegung der Muskeln durch den Strom anzunehmen, da man nicht einer Wirkung zwei Ursachen unterlegen darf, zu deren Erklärung eine vollständig ausreicht. S. hierüber bereits Volta's lichtvolle Erörterungen in der »*Memoria seconda sull' Elettricità animale.*« [2] Der Umstand aber, der Marianini zur Aufstellung jenes Unterschiedes bewegen konnte, dafs nämlich bei blofser Belegung von Muskeln mit den ungleichartigen Metallen die Zuckung angeblich erfolge, welches auch die Richtung des Stromes sei, hat für uns keine Geltung, da wir vielmehr durch Pfaff [3] und Ritter [4] wissen, dafs auch hier die Vertheilung der Metalle denselben Einflufs, wie bei blofser Bewaffnung der Nerven, ausübt.

[1] Annales de Chimie et de Physique. Mars 1830. t. XLIII. p. 320.

[2] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. p. 81. §. 50 e seg.

[3] Ueber thierische Elektricität u. s. w. S. 109. 3.

[4] Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. S. 151. 152. §. 77. 78.

## (VI) Nobili's Arbeiten im Gebiete des Gesetzes der Zuckungen.

### *A.* Nobili's *Gesetz der Zuckungen.*

Inzwischen hatte Nobili, dem wir bereits für die Kenntnifs des Froschstromes so viel verdanken, seine Aufmerksamkeit dieser Klasse von Erscheinungen zugewandt, von dem Wunsch ergriffen, einige Gesetzmäfsigkeit in dem regellosen Treiben der Zuckungsversuche zu entdecken, wie es sich ihm bei seinen ersten Bemühungen, die Empfindlichkeit des elektromagnetischen und physiologischen Rheoskopes einem Vergleich zu unterwerfen, dargeboten hatte. Seine Arbeit, vom 1. November 1829 gezeichnet, steht *Annales de Chimie et de Physique.* Mai 1830. t. XLIV. p. 60.* — S. auch *Memorie ed Osservazioni edite ed inedite ec.* vol. I. p. 135.*

Er beginnt mit der Wiederholung der Marianini'schen Versuche über die Beziehung zwischen Schmerzbezeugung und Strömungsrichtung. Obschon ihm mehrere Frösche ebenso gut bei der Schliefsung, als bei der Oeffnung des absteigenden Stromes zu leiden schienen, zeige doch die Mehrzahl in der That die Erscheinungen, wie dieser Gelehrte sie beschrieben habe. Dafs aber daraus der Schlufs zu ziehen sei, den derselbe seinen Versuchen entnahm, glaubt Nobili in Abrede stellen zu müssen, und zwar weil er findet, dafs, bei unmittelbarem Anlegen der Pole an den Rumpf des Frosches, gleichviel welches die Richtung des Stromes sei, das Thier stets und unter allen Umständen dieselben Aeufserungen des Schmerzes von sich giebt, wie, bei Marianini's Verfahren, beim Oeffnen des absteigenden und beim Schliefsen des aufsteigenden Stromes. Nobili schreibt diese Schmerzbezeugungen auf Rechnung der Zusammenziehungen, in die man alsdann alle Muskeln des Rumpfes gerathen sehe, geht aber leichthin über die aufserordentliche Schwierigkeit fort, zu erklären, wie es komme, dafs bei jenem Verfahren diese Muskeln eben nur auf das Oeffnen des absteigenden und auf das Schliefsen des aufsteigenden Stromes mit Zuckung antworten sollen, während die der unteren Gliedmafsen gerade das entgegengesetzte Verhalten zeigen. (Ibid. p. 63. 64.) Uebrigens ist die Widerlegung dieses Nobili'schen Einwandes, in so fern er sich im Allgemeinen auf die Ursache des Schmerzes bezieht, bereits in dem angeführten Versuche Pfaff's enthalten, der, um vor der Fehlerquelle der Muskelempfindungen gesichert zu sein, den Nerven unterhalb der gereizten Stelle wohlweislich unterbunden hatte. (S. oben S. 359.)

Dann zu den Bewegungserscheinungen sich wendend, berichtet

Nobili zuerst, (unbekannt mit den Deutschen Arbeiten über diesen Gegenstand, dafs bisher die Physiker sich mit der Unterscheidung zweier Zustände begnügt hätten, eines der höchsten Erregbarkeit, wo sowohl Oeffnung als Schliefsung beider Ströme, des aufsteigenden wie des absteigenden, von Zuckung begleitet sein, und eines der geringeren Erregbarkeit, wo die Oeffnungszuckung des absteigenden und die Schliessungszuckung des aufsteigenden Stromes wegfallen. Nach Versuchen an mehr als hundert Fröschen, sei er zur Einsicht gekommen, dafs fünf verschiedene Stufen der Erregbarkeit zu unterscheiden seien. Er stellte seine Versuche mit Anlegen einfacher ungleichartiger Bögen, aus Kupfer-Platin, manchmal aus Eisen-Kupfer, allein an die Nerven eines nach Galvani's Vorschrift zugerichteten Frosches an, dessen einer Ischiadnerv jedoch ganz entfernt war.

| Nobili's Gesetz der Zuckungen. (1829). | | Absteigender Strom. | Aufsteigender Strom. |
|---|---|---|---|
| I. | Schliefsung. | Zuckung. | Zuckung. |
| | Oeffnung. | Zuckung. | Zuckung. |
| II. | Schliefsung. | Starke Zuckung. | Ruhe. |
| | Oeffnung. | Schwache Zuckung. | Starke Zuckung. |
| III. | Schliefsung. | Starke Zuckung. | Ruhe. |
| | Oeffnung. | Ruhe. | Starke Zuckung. |
| IV. | Schliefsung. | Zuckung. | Ruhe. |
| | Oeffnung. | Ruhe. | Ruhe. |

Die fünfte Stufe ist dadurch bezeichnet, dafs unter dem Einflusse des angewandten Bogens, für welchen der Nerv bereits die vier anderen durchgemacht hat, gar keine Zuckung mehr entsteht. Nichtsdestoweniger kehrt sie noch wieder, wenn man sich jetzt eines Bogens aus mehr ungleichartigen Metallen, oder gar einer Säule bedient (p. 65 bis 70).

### *B.* Nobili's *Deutung des Gesetzes der Zuckungen.*

Um Nobili in seine Theorie der Zuckungen folgen zu können, ist es nothwendig, etwas weiter auszuholen, da sie auf der früher bereits erwähnten (S. oben S. 333), noch nicht entwickelten Thatsache der

»Modification der Erregbarkeit durch geschlossene Ket»ten,« wie die Deutschen Physiker sie bezeichneten, oder der Voltaïschen Abwechselungen, »alternatives voltianes« oder »vol»taiques,« der Italiänisch-Französischen Schriftsteller, beruht. Wir machen uns daher jetzt zunächst mit dieser bekannt.

### a. Geschichtliches in Betreff der Veränderungen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten.

#### *α.* Ritter's *Modificationen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten.*

Einige Andeutungen dieser Klasse von Erscheinungen finden sich schon bei Valli, [1] Pfaff, [2] und der Commission des National-Institutes vom Frühling 1797. [3] Als der eigentliche Entdecker derselben ist jedoch, meines Wissens, Ritter zu betrachten, der bereits 1798 in seinem »*Beweis, dafs ein beständiger Galvanismus u. s. w.*« eine vollständige Darstellung davon gab. Er berichtet folgende Thatsachen: [4]

Wenn man einen Froschschenkel eine halbe bis mehrere Stunden lang in einer geschlossenen Kette liegen läfst, so erscheint, nach Verlauf dieser Zeit, seine Erregbarkeit verändert im Verhältnifs zu der eines ursprünglich gleichen Schenkels, der ebensolange in einer offenen Kette gelegen hat. War der Strom in dem Nerven absteigend, so erfolgt alsdann entweder nur noch schwache, oder gar keine Zuckung beim Oeffnen und Wiederumschliefsen der Kette; war er hingegen aufsteigend, so sieht man nicht nur, wie dort die Zuckung immer schwächer wurde, dieselbe hier, mit zunehmender Dauer der Schliefsung, immerfort an Stärke zunehmen, sondern zuletzt beschränke sich die Reaction auf das Oeffnen der Kette nicht mehr auf eine einzelne Erschütterung; der Schenkel geräth in Tetanus, aus dem er »mehr durch ein gleich»förmiges, obschon auch zum Theil durch kleine oscillirende Zusam»menziehungen unterbrochenes Abnehmen ... die vorige Ruhe wieder»erhält. Dieses kommt aber, wenn die Kette erst ohngefähr eine »Stunde und später nach der ersten Schliefsung geöffnet wird, nicht

[1] Pfaff, über thierische Elektricität u. s. w. S. 84.* — Reinhold's Geschichte des Galvanismus u. s. w. S. 24. Versuch 6. (?)*

[2] A. a. O.

[3] Ritter's Beiträge u. s. w. Bd. I. St. 1. S. 58.*

[4] Vergl. auch Ritter's »Beweis dafs die Galvanische Action oder der Gal»vanismus auch in der Anorgischen Natur möglich und wirklich sei,« in seinen Beiträgen u. s. w. Bd. I. St. 1. 1800. S. 142 ff.* und Gilbert's Annalen der Physik. 1800. Bd. VI. S. 471.* — J. H. Voigt's Magazin für den neuesten Zustand der Naturkunde u. s. w. 1800. Bd. II. S. 365.*

»sobald, sondern erst nach bisweilen eine Minute und darüber dauern»der Zeit, zu Stande. Fürchterlich ist oft die Spannung, welche alle »Muskeln während dieser Zeit erleiden, und doch kann man sie den »Augenblick aufheben, wenn man die Kette von Neuem schliefst: der »Schenkel sinkt in tiefen Schlaf zurück, aus dem er aber mit jeder »neuen Trennung eben so schrecklich wieder geweckt wird.« (S. 119 bis 121). Wird eine Kette so angeordnet, dafs darin zwei Schenkel mit ihren Nerven befindlich und beziehlich dem auf- und absteigenden Strome ausgesetzt sind, so beobachtet man, in einem Versuche, beide entgegengesetzte Erfolge auf einmal. Kehrt man in beiden die Strömungsrichtung um, so erhält man, bei der Schliefsung, eine heftige Zuckung in dem früher aufsteigend durchflossenen Schenkel; bei der Trennung bleibt vorerst der früher absteigend, jetzt aufsteigend durchkreiste Schenkel ruhig. Allein, sehr bald verschwindet die Trennungszuckung in dem jetzt absteigend, die Schliefsungszuckung in dem aufsteigend durchströmten Schenkel, und dieser giebt die beschriebenen Spannungserscheinungen beim Oeffnen der Kette. So lasse sich dieses Spiel, so lange Geduld von Seiten des Beobachters und Erregbarkeit von Seiten der thierischen Gebilde vorhalten, noch viele Male umkehren und fortsetzen. (S. 122—124). Aber noch mehr, die Erregbarkeit des dem aufsteigenden Strome ausgesetzt gewesenen Schenkels erscheint absolut erhöht. Denn nachdem die auf die Trennung der Metalle folgende ungeheure Reaction vorüber sei, sei es möglich, an tagealten Präparaten Zuckungen durch Ketten nur aus thierischen Theilen zu erhalten. (S. 124—126). Beide Veränderungen der Erregbarkeit, die durch den absteigenden Strom und die durch den aufsteigenden, können ebensogut beobachtet werden, wenn, statt Nerv und Muskel, nur der Nerv allein in der Kette ist. (S. 120). Und so gelingt es auch, die merkwürdige Thatsache festzustellen, dafs beide Veränderungen am Nerven nur örtlich sind, d. h. nicht über die unmittelbar den Strömen ausgesetzt gewesenen Nervenstrecken hinausreichen. Für den Zustand der verminderten Erregbarkeit geschieht dies, indem man den Nerven, nachdem man beim Schliefsen mit dem ungleichartigen Bogen zwischen Nerv und Muskel keine Zuckung mehr erhält, weiter aus dem Muskel herauspräparirt und nun Zuckung erfolgen sieht, weil hier der Nerv, wegen der geringeren Dichtigkeit des Stromes, weniger durch ihn verändert werden konnte. Einpacken der frisch herauspräparirten Strecke in Muskelfleisch bis an die vorige Stelle hebt die Zuckung wieder auf. Für den Zustand künstlich erhöhter Erregbarkeit wird der Beweis der nur örtlichen Einwirkung des Stromes dadurch geführt, dafs erstens Durschschneiden des Nerven mit der Scheere unterhalb der betroffenen

Strecke den Tetanus nicht hervorbringt, der sogleich entsteht, wenn die Trennung zwischen den Enden des an den Nerven angelegten ungleichartigen Bogens geschieht; dafs zweitens Einhüllen des Nervenstücks zwischen dieser Strecke und dem Muskel mit Muskelfleisch ebensowenig diese Folge hat, während sie nicht ausbleibt, wenn durch Einhüllen der veränderten Strecke auf die angegebene Weise die Dichtigkeit des Stromes in derselben verringert wird; drittens dadurch, dafs die Zuckung durch Ketten aus blos thierischen Theilen nur beim Anbringen des Stromes an den veränderten Nerven gelingt, obschon in einigen Fällen das Gegentheil beobachtet wurde. (S. 126 — 130). Auf eine Erklärung der Erscheinung läfst sich Ritter nicht ein; er sieht darin, wie man schon zu bemerken Gelegenheit gehabt hat, nach den dunklen Brown'schen Kategorieen von Depression und Exaltation vor sich gehende Modificationen der nicht minder dunklen Qualität Irritabilität. Es ist übrigens einleuchtend, dafs diese Thatsachen die Erklärung seiner andern Behauptung enthalten, die von ihm selbst, meines Wissens, nicht damit in Verbindung gebracht worden ist, dafs nämlich, nachdem man beide Arme lange Zeit dem Strome einer kräftigen Vorrichtung ausgesetzt habe, in dem aufsteigend durchströmten ein Gefühl erhöhter Beweglichkeit, in dem absteigend durchkreisten ein solches von Lähmung sich einstelle. [1]

Volta's Mittheilung über diesen Gegenstand, worauf die Italiänisch-Französischen Schriftsteller die Wahl des Namens stützen, womit sie denselben zu bezeichnen pflegen, ist einige Jahre jünger als Ritter's Arbeit, vom November 1801, und minder vollständig als jene, von der sie übrigens in wesentlichen Punkten abweicht.[2] Volta bemerkt, dafs, obschon die Muskeln von der Schliefsung der Kette an und trotz der Fortdauer des Stromes sich ruhig verhalten, sie, oder vielmehr ihre Nerven, deshalb doch nicht ohne alle Einwirkung von Seiten desselben blieben. Vielmehr, wenn ihnen auch nichts mit dem Auge bemerk-

[1] Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VII. S. 482. — Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 2. October 1802. S. 57 ff. — Vergl. Most, über die grofsen Heilkräfte des Galvanismus u. s. w. S. 93. Most will die Lähmung absteigend durchströmt gewesener Gliedmafsen auch an einer lebenden Katze beobachtet haben. A. a. O. S. 137.

[2] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. II. p. 219. Nota (a). Was das Datum betrifft, s. Volta selbst p. 200. Nota (a). — S. auch Hallé's »Uebersicht der von »Volta in Gegenwart der Commissarien des Nationalinstituts angestellten, und in »seinen der Classe mathematischer und physikalischer Wissenschaften vorgelesenen »Abhandlungen vorgetragenen Versuche,« unter andern in Reinhold's Geschichte des Galvanismus u. s. w. S. 211 (Versuch 8. S. 222) und fernere Literatur ebendaselbst S. 223 in einer Anmerkung des Herausgebers.

bares zustofse, würden sie doch dadurch für einige Zeit auf bestimmte Weise gelähmt. Wenn man einen frisch zubereiteten Frosch mit beiden Füfsen rittlings in zwei Gefäfse tauchen lasse, in welchen die Enden einer mäfsig starken Säule befindlich sind, so dafs der Strom in dem einen Schenkel aufsteigend, in dem anderen absteigend sei, so erfolgten anfangs Zuckungen, entsprechend jeder Schliefsung und Oeffnung des Kreises. Wenn aber dieser längere Zeit hindurch, z. B. eine halbe Stunde lang, geschlossen gehalten würde, so fänden endlich gar keine Zuckungen mehr statt, gleich als ob die Schenkel völlig ihre Erregbarkeit eingebüfst hätten. Wirklich sei dies der Fall, indefs nur in der einen Richtung, denn kehre man jetzt den Strom um, so erhalte man bei jeder Schliefsung und Oeffnung des Kreises wieder Zuckungen, wo möglich noch kräftiger, als die allerersten waren. Bliebe jetzt abermals die Kette eine halbe Stunde geschlossen, so verlieren die Schenkel die Fähigkeit, auf diese zweite Strömungsrichtung zu antworten, und erhalten dagegen die Empfänglichkeit für die erstere wieder zurück. Und so könne man, von halber zu halber Stunde den Strom umkehrend, dieses Spiel einen Tag lang und noch länger fortsetzen.

Zwischen Volta's und Ritter's Angaben besteht nun, wie man sieht, der grofse Unterschied, dafs nach Volta die beiden Strömungsrichtungen, um mit Ritter zu reden, einerlei deprimirende Wirkung ausüben würden, während nach Ritter die eine Strömungsrichtung exaltirend, die andere deprimirend wirkt. Die Vermuthung liegt nahe, dafs diese Abweichung in den Ergebnissen von der sehr verschiedenen Stärke der Ketten herrührte, mit denen Volta und Ritter arbeiteten; und in der That erklärt der letztere etwas später, ohne jedoch auf Volta's Mittheilung Rücksicht zu nehmen, dafs das oben Auseinandergesetzte nur von Ketten einer gewissen Schwäche gilt, indem neben der exaltirenden und deprimirenden Wirkung der Kette, wie sie eben beschrieben wurde, eine absolut deprimirende nebenher laufe, welche im Verhältnisse zu jener um so kleiner sei, je kleiner die Stärke der Kette, daher die Erscheinungen, wie sie beschrieben wurden, bei einfachen Ketten zu Stande kommen könnten, während Säulen stets deprimirend für die gerade stattfindende Strömungsrichtung wirkten, welche sie auch sein möge; was augenscheinlich mit Volta's Behauptungen übereinkommt. [1]

Versuche, welche denen Volta's sehr nahe kommen, hat Ritter auch subjectiv an seinem eigenen Körper angestellt. Volta selbst hatte dies versucht (lvi, p. 221), und zwar indem er den Strom durch zwei

[1] Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. A. 1805. S. 124 ff.

Finger seiner Hand oder der eines Anderen leitete, und berichtet im Allgemeinen von nahezu gleichen Ergebnissen; mit den ganzen Armen und anderen grofsen Theilen des Körpers seien dieselben weniger deutlich gewesen. RITTER, der diesen Unterschied nicht macht, fafst seine Erfolge in folgendem Ausdruck zusammen: »die natürliche Empfäng»lichkeit eines Organs für den Schliefsungsschlag wird auf der einen »Seite der Batterie durch anhaltende Schliefsungen geschwächt für diese »Seite und erhöht für die entgegengesetzte; und: die natürliche Em»pfänglichkeit für den Trennungsschlag wird auf der einen Seite der »Batterie durch anhaltende Schliefsungen erhöht für diese Seite und »geschwächt für die entgegengesetzte.[1] Zwar spricht VOLTA in seiner obigen Beschreibung nicht von einer Zunahme der Trennungszuckungen; dieser Umstand ist indefs nachmals, wie man sich erinnert (S. oben S. 337) von MARIANINI an Fröschen beobachtet worden, und dieser hat ihn sogar später noch einmal, gerade bei Gelegenheit der Untersuchung der VOLTAïschen Abwechselungen, festgestellt.[2]

Inzwischen wurden RITTER's erste Ergebnisse in Deutschland durch TREVIRANUS im Allgemeinen bestätigt.[3] Dieser beschreibt allerdings gleichzeitig eine Reihe von Fällen, die Ausnahmen von den von RITTER aufgestellten Grundsätzen darzubieten scheinen. Von besonderem Interesse ist darunter einer, wo die Erscheinungen an zwei bereits vielfach mit galvanischen Versuchen abgemüdeten Schenkeln sich genau wie in VOLTA's Beschreibung verhalten. (S. 49). In anderen beruhen die Unregelmäfsigkeiten anerkanntermafsen darauf, dafs den Versuchen, welche RITTER's Behauptungen zu prüfen bestimmt sind, andere Reizversuche voraufgeschickt werden. (S. 52). Aus der Möglichkeit nun einer solchen Modification des Erfolges durch andere vorhergegangene Versuche und aus dem unter andern von der oben erwähnten Französischen Commission bemerkten Umstande, dafs die verschiedenen gewaltsamen Todesarten, vornehmlich Asphyxien der Thiere einen merklichen Einfluſs auf die Erregbarkeit derselben durch Galvanismus äufsern, folgert TREVIRANUS die Unstatthaftigkeit des RITTER'schen Gesetzes der Zuckungen sowohl als der Veränderungen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten (S. 55). Er irrt sich jedoch dabei, wie es scheint, völlig in dem Grundbegriffe eines Gesetzes natürlicher Erscheinungen überhaupt; denn daraus z. B., dafs ein Körper auf einer geneigten Ebene rollend nicht mehr senkrecht fällt, ist es noch Keinem beigekommen zu schliefsen, dafs die

[1] Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 2. 1802. S. 89.

[2] Annales de Chimie et de Physique. Août 1834. t. LVI. p. 406. X.

[3] GILBERT's Annalen der Physik. 1801. Bd. VIII. S. 44—48.

gegenseitige Anziehung zweier Massen nach der durch ihre Schwerpunkte gezogenen Geraden kein richtiges Naturgesetz sei. TREVIRANUS eigene Annahme von einem besonderen Uebergangswiderstande, den gewisse Punkte des Nervensystems der galvanischen Flüssigkeit entgegensetzen würden, zur Erklärung eines Theiles der von ihm wahrgenommenen Unregelmäfsigkeiten, ist wohl in jeder Beziehung eine verunglückte zu nennen.

RITTER selbst glaubte unterdefs in dem oben S. 319 mitgetheilten Schema das Gesetz der Zuckungen erkannt zu haben. Man erinnert sich, dafs das Wesentliche davon darin besteht, dafs die thierischen Glieder, auf dem Gipfelpunkte ihrer Erregbarkeit, und dem unversehrten Leben zunächst, gerade die entgegengesetzten Erscheinungen von denen zeigen, die sie auf der mittleren, gewöhnlichen Stufe derselben darzubieten pflegen: nämlich Zuckung beim Austritt des absteigenden, beim Eintritt des aufsteigenden, Ruhe beim Eintritt des ersteren und beim Austritt des letzteren Stromes. Gleichzeitig erklärt nun RITTER, dafs in solchen Fällen auch die Erscheinungen der Modification der Erregbarkeit durch den Strom die umgekehrten von denen seien, die er früher beschrieben habe und leitet daraus einen Theil der von TREVIRANUS beobachteten Unregelmäfsigkeiten ab, wie er die von PFAFF und ihm selber bemerkten Anomalieen des Gesetzes der Zuckungen jetzt unter das allgemeinere, die Umkehr der Erscheinungen im Verlaufe des Absterbens in sich begreifende Gesetz befafst hatte. In dem Zustande I der Tabelle S. 319 deprimirt der aufsteigende und exaltirt der absteigende Strom. »Man schliefse gleich wieder, und untersuche nach »neuen 10 bis 20 Minuten. Entweder findet man bei der Oeffnung »der Kette die Vertheilung beider Wirkungen nicht mehr so bestimmt, »oder man weifs auch schon fast ganz und gar keinen Unterschied »zwischen beiden Extremitäten mehr anzugeben. Fast möchte man »zuweilen bald sagen, beide wären exaltirt, bald, beide wären »deprimirt. Man schliefse wieder und lasse 20 bis 30 Minuten oder »auch noch länger geschlossen; bei der Oeffnung findet man den Sil»berschenkel[1] durchaus nicht mehr deprimirt, sondern stark exal»tirt, den Zinkschenkel hingegen schwach deprimirt, oder »auch, wenn die Schliefsung lange genug dazu angehalten, diesen »schon stark deprimirt. Schliefst man abermals von Neuem, und »lässt nur 20 bis 30 Minuten, oder überhaupt die gehörige, nicht bis »auf die Minute genau anzugebende Zeit geschlossen, so findet man

[1] Unter Silberschenkel ist der aufsteigend, unter Zinkschenkel der absteigend durchkreiste Schenkel zu verstehen.

»nun ganz bestimmt den Silberschenkel ganz aufserordent-
»lich exaltirt, den Zinkschenkel ganz aufserordentlich de-
»primirt, so sehr, dafs oft auf keine Weise mehr mit Zink und
»Silber oder selbst noch beträchtlich gröfseren Differenzen, Zuckungen
»an ihm zu erzwingen wären.« [1]

Später dehnte Ritter auch auf diese Erscheinungen seine Lehre von den entgegengesetzten Erregbarkeiten der Strecker und Beuger aus. [2] Ritter behauptet nämlich kurz und gut, dafs, wenn ein Schenkel auf der höchsten Stufe der Erregbarkeit (I, S. 319) stehe, und er werde absteigend durchflossen, d. h. einer, unter diesen Umständen, exaltirenden Kette ausgesetzt, so zuckten bei der Oeffnung nur Beuger, nicht Strecker. »Die Flexoren des Schenkels sind in der gröfsten con-
»vulsivischen Bewegung, und bleiben eine oder etliche Minuten darin.
»Während dieser Zeit und auch nachher besitzt dieser Schenkel die
»nämliche hohe Erregbarkeit durch Ketten aus blos thierischen Theilen
»und andere äufserst geringe Reize, die sonst gewöhnlich der Silber-
»schenkel (*m*) zeigt.« Dieser aber bleibe währenddem ganz ruhig, und Versuche mit ungleichartigen Metallen zeigen, dafs er beträchtlich deprimirt sei. Höchstens erhalte man, wenn man es endlich dazu bringe, einige Zuckungen an den Streckmuskeln desselben. »Man sieht,
»die Kette hat blos auf die Flexoren gewirkt, in *m* hat sie dieselben
»deprimirt, in *n*« (dem Zinkschenkel) »exaltirt«. (S. 120). In dieser Weise verfolgt nun Ritter durch alle oben aufgezählten fünf oder sechs Stufen der Erregbarkeit die Modificationen derselben nach folgendem Princip: »dafs die nämlichen Muskeln, auf welche bei der
»Schliefsung und Trennung einer gegebenen galvanischen Kette gewirkt
»wird, auch diejenigen sind, auf welche während dem Geschlossensein
»der Kette die Wirkung dieser fortdauert, deren Product man nach-
»mals in dem wiederfindet, was bisher Erhöhung und Deprimirung der
»Organe durch diese Kette, genannt wurde... Die Ordnung, in welcher
»die Kette auf die verschiedenen Muskeln des Organs exaltirend wie
»deprimirend wirkt, ist die nemliche, in der sie überhaupt auf sie
»wirkt.« (S. 130.)

In seinem uns bereits bekannten kritischen Aufsatze im *Nordischen Archive* stellt Pfaff auch diese Behauptungen Ritter's, auf Grund zahlreicher Versuche, auf das Entschiedenste in Abrede, indem er zugleich den ersten Erfahrungen desselben, bis auf die Umkehr des exaltirenden und deprimirenden Einflusses einer und derselben Strömungs-

[1] Gilbert's Annalen der Physik. 1804. Bd. XVI. S. 329.

[2] Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. S. 118.

richtung, an die er ebensowenig glaubt als an die Umkehr des Gesetzes der Zuckungen, seine vollständige Zustimmung ertheilt. Ebendahin hat er sich zum zweitenmal in Gehler's *physikalischem Wörterbuche*, a. a. O. S. 724, * ausgesprochen.

Ich wüfste nicht, dafs Ritter diesen Einwürfen entgegenzutreten sich bequemt hätte. Noch einmal finden wir ihn, drei Jahre später, mit den Modificationen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten beschäftigt. [1] Er kommt auf das früher Ausgesprochene (S. oben S. 366) zurück, dafs diese Modificationen nur örtlich seien, und ändert es dahin ab, dafs dieselben sich allerdings über die unmittelbar betroffene Nervenstrecke hinaus nach dem Muskel zu fortpflanzen, jedoch mit umgekehrtem Zeichen, also als Depression, wenn es sich um einen aufsteigenden Strom und um eine spätere, geringere Stufe der Erregbarkeit handelt, als Exaltation, wenn die ursprüngliche Modification deprimirender Art war. Zwar erscheine sie daselbst begreiflich schwächer, als zwischen den Enden der Kette selbst, doch immer noch zu solchem Grade, dafs niemand über Mangel an Deutlichkeit klagen könne. Die Prüfung geschieht mittelst derselben einfachen Kette, welche zur Modification gedient hat, und die Erregbarkeitsveränderungen zeigen sich in dem Unterschiede in der Stärke der Zuckungen, die in zwei verschieden modificirten Nervenstrecken auf Reizung mittelst derselben Differenz erfolgen. (S. 423.). Diese Wirkungen bleiben aus, wenn die Nerven unterhalb der erregten Strecke sorgfältig unterbunden worden seien. (S. 424). Durch diese sich im Nerven fortpflanzende Veränderung sucht er jetzt die Fälle zu erklären, in denen er früher die zwischen der unmittelbar exaltirten Strecke und dem Muskel gelegenen Nervenstrecken auch zur Erregung durch blos thierische Theile tauglich befunden hatte (S. 425); wobei er jedoch übersieht, dafs hier die sich fortpflanzende Modification von einerlei Zeichen gewesen sein müfste, wie die zwischen den Enden der Kette stattfindende, dafs also doch noch ein ungelöster Widerspruch übrig bleiben würde. Er denkt übrigens, zur Ableitung aller dieser Erscheinungen, an chemische Modificationen der Nerven, eine Hypothese, deren fernere Entwickelung durch P. Erman uns bereits bekannt geworden ist. (S. oben S. 334).

[1] Gehlen's Journal für die Chemie, Physik und Mineralogie. 1808. Bd. VI. S. 421.* (Aus einer der physikalisch-mathematischen Klasse der Königl. Baier. Akademie der Wissenschaften vorgelegten Abhandlung.)

*β. Die* Voltaïschen *Abwechselungen durch* Marianini *bearbeitet.*

Man gestatte mir, zur Vereinfachung der späteren Darstellung, die Sammlung der auf diesen Gegenstand bezüglichen Thatsachen sogleich bis auf die neuere Zeit herabzuführen. Wir machen, an Nobili's Theorie der Zuckungen, die sich darauf stützt, vorüber, einen Sprung von 26 Jahren bis in die Mitte des verflossenen Jahrzehends. Erst der 56. Band der Französischen *Annalen der Chemie und Physik* (Août 1834. p. 387 — 428) bringt wieder eine reichhaltige Abhandlung von Marianini über die »Alternatives voltaïques«.

Marianini kannte, von den früheren Leistungen in diesem Gebiete, nichts als die oben mitgetheilte Stelle Volta's aus einer Anmerkung zu seiner Abhandlung »*Sull' Identità ec.*« Hiernach hegte er Zweifel, ob nicht die ganze Wahrnehmung Volta's auf einer durch die Schwächung der Säule durch die Polarisation herbeigeführten Täuschung beruht habe. Da nämlich die Polarisation sehr rasch im Sinken begriffen ist, sowie der Kreis geöffnet wird, so würden die Zuckungen nach der Umkehr des Stromes, oder vielmehr dem Umlegen des Frosches, einfach darauf beruhen, dafs darüber mehr Zeit vergeht als über dem blofsen Oeffnen und Schliefsen der sonst unverändert bleibenden Kette (Ibid. p. 389). Marianini fand nun in der That, dafs dieser Umstand zur Erscheinungsweise der Abwechselungen sehr viel beiträgt, dafs aber nichtsdestoweniger das Verhalten stattfinde, wie Volta es beschrieben hatte. Richtete er nämlich zwei ganz gleiche Säulen vor, und schlofs die eine durch den Frosch, während die andere offen stehen blieb, so gab diese noch Zuckungen mit dem Frosche in derselben Richtung wie die erstere, die durch die dauernde Schliefsung unwirksam geworden war. Bewerkstelligte er aber andererseits das Umlegen des Frosches im Kreise, so dafs die Kette dabei gar nicht geöffnet wurde, indem er z. B. zwischen beiden Gefäfsen, in die das Präparat mit Kopfende und Füfsen tauchte, vor dem Entfernen desselben mit einem Metallbogen schlofs, den er erst wegnahm, nachdem der Frosch wieder in umgekehrter Richtung aufgelegt worden war, so dafs also die Ladungen während dieser Veränderung in keiner Weise in Freiheit gesetzt wurden, so erfolgten gleichwohl Zuckungen, die nun blos von der einseitigen Lähmung des Frosches, um in Volta's Bilde zu bleiben, abgeleitet werden konnten (p. 391). Man beobachte die Abwechselungen mit Strömen von sehr verschiedener Stärke, von zwei bis zweihundert Plattenpaaren. Das Aufhören der Zuckungen für eine und dieselbe Strömungsrichtung trete dabei in gleicher Zeit ein, wenn die Schwächung durch die Polarisation auch in ungefähr gleicher Zeit vor

sich gehe; es zeige sich schneller, wenn die Ladungen sich schneller entwickeln. Der wesentliche, den Frosch betreffende Unterschied, den Elektromotore von sehr verschiedener Stärke darbieten, bestehe aber in der absoluten Zeitdauer, während welcher man überhaupt Abwechselungen, d. h. Zuckungen nach dem Umlegen des Präparates, wenn es bereits geschwiegen habe, beobachten könne, indem die Erregbarkeit in den stärker wirkenden Kreisen bekanntermafsen schneller zu Grunde gehe, als in den schwächeren (p. 392. 393). Diese letztere Thatsache wird durch neue Versuche bestätigt (p. 394). Die Unabhängigkeit der Zeit, die ein Präparat braucht, um auf eine bestimmte Strömungsrichtung nicht mehr mit Zuckung zu antworten, von der Stromstärke, erklärt Marianini recht sinnreich folgendermafsen: »On ne doit pas »non plus s'étonner que le temps que met la grenouille à perdre la »propriété de se mouvoir en une certaine direction, soit invariable, »quelle que soit la force de l'électromoteur; car la perte de cette pro»priété est toujours relative à la force même.« (p. 395.) Marianini, der sich nicht mehr wie Volta des rittlings zwischen zwei Gefäfsen angebrachten Frosches bediente, wo der Strom in beiden Beinen verschiedene Richtungen in Bezug auf Ursprung und Ausbreitung der Nerven hat, suchte, jedoch vergebens, einen Unterschied zwischen den Wirkungen des auf- und absteigenden Stromes zu entdecken. In beiden Fällen hörten die Thiere nach gleicher Zeit zu reagiren auf. Nur das nahm er wahr, dafs, je öfter man mit der Richtung des Stromes wechsele, um so schneller erschöpfe sich die Reizbarkeit. Da die Säulen, deren Wirksamkeit Marianini hier die thierischen Glieder unterwarf, nicht weniger als 60 Plattenpaare zählten, so brauchen wir uns, nach dem Obigen, nicht zu verwundern, dafs ihm die »exaltirende« Thätigkeit der aufsteigenden Strömungsrichtung entging. Die Erscheinung der Abwechselungen sei ganz unabhängig von der Art und Weise, wie der Frosch in den Kreis gebracht werde; von den Theilen desselben, die man dem Strome aussetze; von der Individualität des Thieres, dem sie entnommen seien: auch Aale, Kaninchen und Tauben gäben Anlafs zu denselben Wahrnehmungen. Nur eine Bedingung von Seiten des Thieres setze sich ihrem Zustandekommen entgegen: der Zustand des unversehrten Lebens selbst. Er verband die beiden Beine eines Frosches durch Bleistreifen beziehlich mit den beiden Polen einer sechzigpaarigen Säule, allein selbst nach drei Stunden anhaltenden Durchströmens zuckte der Frosch fast mit unverminderter Kraft, und bei der Umkehr der Stromesrichtung zeigte sich stets nur eine sehr undeutliche Verstärkung der Zuckungen (p. 398). Marianini bezweifelt daher die Richtigkeit des Volta'schen Versuchs an zweien Fingern seiner Hand,

und schreibt den Erfolg der Schwächung seiner Säule durch die Ladung zu. Ihm selbst glückte diese Erfahrung nicht, als er auf diesen Umstand Rücksicht nehmend mit den »modificirten« Fingern eine Säule von ungeschwächter Kraft schlofs (p. 399). Im lebenden Thiere sei daher fortwährend eine Kraft thätig und bereit, die Modification des Organismus durch die Säule aufzuheben und den früheren normalen Zustand wiederherzustellen. Er nennt dieselbe »principe réparateur.« (p. 398. 400). Es scheint jedoch, nach den oben erwähnten Ritter'schen Versuchen, dafs feinere Wahrnehmungen auch subjectiv die Erscheinung der Abwechselungen am lebenden Organismus zu unterscheiden im Stande seien. Aus der Thatsache, dafs Frösche, viele Stunden nach dem Tode ruhig liegen gelassen, eine ungleich kürzere Periode der Abwechselungen zeigten als frischgetödtete, obschon sie ursprünglich mit fast gleicher Kraft auf gleich schwache Ströme antworteten, schliefst Marianini auf das Dasein der ergänzenden Thätigkeit noch über die Trennung vom Gesammtorganismus hinaus (p. 400. 401). Ebendasselbe zeigt sich darin, dafs auch die blofse Entziehung des Stromes, ohne seine Umkehr, hinreicht, die Zuckungsfähigkeit für dieselbe Strömungsrichtung wieder zu erwecken (p. 402. 403). Marianini sagt auch, dafs wenn man den Frosch der Wirkung einer Strömungsrichtung länger ausgesetzt habe, als es nothwendig sei, um keine Zukkungen mehr durch dieselbe zu erhalten, es nicht hinreichend sei, um ihn wieder für diese Strömungsrichtung empfänglich zu machen, ihn der entgegengesetzten so lange zu unterwerfen, bis er auf dieselbe nicht mehr antworte. In diesem Falle erhält man nämlich nur einige wenige Zuckungen durch die entgegengesetzte Strömungsrichtung, und dann keine mehr; nach der Analogie der gewöhnlichen Erscheinung der Abwechselungen sei man nun berechtigt, Zuckungen durch die ursprüngliche Strömungsrichtung zu erwarten; dem sei jedoch nicht so, um diese zu erhalten, müsse mit der entgegengesetzten Richtung erst eine gewisse Zeit lang fortgefahren werden (p. 404. 405). Dies beruht jedoch vermuthlich einfach auf dem zuerst von Valli,[1] dann von Pfaff[2] wahrgenommenen Umstande, dafs erschöpfte Thiere zwar manchmal noch zu lebhaften Zuckungen vermocht werden können, dafs aber nur wenige Stöfse gelingen, worauf wieder einige Zeit nothwendig ist, um eine neue Zusammenziehung möglich zu machen. Auch ein fortwährend unterbrochener Strom übrigens bringt nach Marianini die Erscheinung der Abwechselungen hervor, indem alsdann bei plötzlicher

[1] Reinhold's Geschichte des Galvanismus u. s. w. S. 37.

[2] Ueber thierische Elektricität u. s. w. S. 85.

Umkehr des Stromes die Zuckungen viel stärker werden, als es die letzten bei der ursprünglichen Strömungsrichtung waren (p. 406). Hier kommt Marianini auf den uns bereits bekannten Umstand zurück, den Ritter auch subjectiv wahrgenommen hat (S. oben S. 369), dafs die Trennungszuckungen im Verhältnifs zu den Schliefsungszuckungen mit steigender Dauer der Einwirkung des Stromes immer an Stärke zunehmen (p. 406. 407).

Sodann schreitet Marianini zur Erklärung der Voltaïschen Abwechselungen. Man könnte nicht sagen, dafs er darin so erfolgreich gewesen sei, als in der Erforschung der Thatsachen. Nachdem er zwei Hypothesen, die von einer Erkrankung durch die eine Strömungsrichtung, die durch die entgegengesetzte wieder geheilt würde, und die von der Gewöhnung der Nerven an den Strom in dem einen Sinne, von der Hand gewiesen hat, sagt er: »Je suppose donc qu'une partie »de l'électricité qui envahit les organes du mouvement s'y arrête pen»dant quelque temps, et s'y accumule de plus en plus jusqu'à ce que, »par une tendance à refluer, elle s'oppose au courant qui survient »dans les mêmes organes, de manière que l'action de ce courant de»vienne nulle, ou excite des contractions plus faibles qu'au commen»cement de l'expérience.« (p. 413.) Man sieht, es ist die alte Hypothese Lehot's, die Marianini schon früher adoptirt und zur Erklärung der Oeffnungszuckung verwendet hatte. Die Reihe von Schlufsfolgen indefs, wodurch Marianini sie jetzt mit der Erscheinung der Abwechselungen zu verknüpfen sucht, und die Versuche, in denen er dabei eine Stütze zu finden meint, lassen an Schärfe und innerer Wahrscheinlichkeit so viel zu wünschen übrig, dafs wir wohl mit dieser Andeutung darüber hinweggehen können; um so mehr, als diese Theorie, meines Wissens, sich auch sonst keines grofsen Anklanges zu erfreuen gehabt hat.

### γ. *Die* Peltier'*schen Ladungen.*

Es könnte jedoch sein, dafs sie es wäre, welche Peltier zu einer Entdeckung Anlafs gab, deren wir jetzt zu gedenken haben. Die Lehot'sche Hypothese beruht nämlich augenscheinlich auf einer ähnlichen Anschauungsweise, wie Ritter's eigene Erklärung der Polarisation der Elektroden (in seiner Ladungssäule) durch das Zurückhalten eines Theiles der Elektricität, von welcher sie in der Kette durchströmt wurden, und dessen nachmalige Abgleichung sich als secundärer Strom kundgeben würde. [1] Es lag nahe, zu untersuchen, ob ein solcher Rück-

[1] Ritter in Voigt's Magazin für den neuesten Zustand der Naturkunde u. s. w. 1803. Bd. VI. S. 97—129. 181—215. * — Physisch-chemische Abhandlungen in chronologischer Folge. Leipzig 1806. Bd. III. S. 95. *

strom in den thierischen Gliedern stattfinde, welche die Erscheinung der einseitigen Lähmung durch den Strom zeigten, da diese, nach Marianini, gleichfalls auf dem Zurückhalten eines Antheils Elektricität beruhen sollten, und in der That hatte auch dieser Physiker bereits, jedoch vergeblich, Versuche in diesem Sinne unternommen (Ibid., p. 423. 424). Merkwürdigerweise wies nun Peltier dergleichen Rückströme, denen zwischen geladenen Elektroden nicht unähnlich, in der That nach.

Peltier's Originalarbeit ist mir leider unbekannt geblieben. Becquerel führt, mit gewohnter Fahrlässigkeit, ohne seine Quelle anzugeben, in seinem Lehrbuche Folgendes an: »M. Peltier a envisagé la question »sous un autre point de vue. Reprenons l'expérience où les deux »cuisses de la grenouille plongent chacune dans un vase rempli d'eau, »communiquant ensemble avec une mèche de coton. (?) Si on laisse »circuler le courant pendant quelques minutes, les cuisses se polarisent »absolument de la même manière que le font deux lames de platine »plongées dans un vase rempli d'eau, et en communication chacune »avec l'une des extrémités de la pile. En effet, si l'on enlève les deux »lames de platine qui transmettent le courant, et que l'on plonge dans »les deux vases d'autres lames de même métal, en communication avec »le multiplicateur, on a un courant en sens inverse du premier, qui »ne peut provenir assurément que de la polarisation des cuisses de la »grenouille. M. Peltier infère de là que la contraction, qui a lieu à »l'instant où l'on interrompt le circuit, est due à l'action du courant »résultant de la polarisation des cuisses de la grenouille.« [1]

In Ermangelung der genaueren Kenntnifs von Peltier's Versuchen, habe ich selbst einige dergleichen über die Polarisation der thierischen Glieder angestellt.

I. Die allgemeine Bestätigung der Thatsache gelingt sehr leicht. Ich bediente mich einer Grove'schen Säule von sechs Plattenpaaren der kleinen im ersten Paragraphen des vierten Kapitels dieses Abschnittes beschriebenen Art. Die letzten Elemente waren mit amalgamirten Zinkplatten verbunden, welche in gesättigte Kochsalzlösung in zwei flach cylindrischen Porzellangefäfsen (von 55$^{mm}$ Oeffnung und 37$^{mm}$ Tiefe) tauchten. Nachdem ich den Hintertheil (Becken nebst Beinen) eines Frosches an der oben S. 213 beschriebenen Vorrichtung auf seinen gesetzmäfsigen aufsteigenden Strom geprüft hatte, der die Nadel meines Multiplicators gegen die Hemmung zu werfen pflegt, ward er auf die beiden Gefäfse mit Kochsalzlösung aufgelegt, so dafs er hier mit Becken, dort mit Füfsen eintauchend eine feuchte die Kette schliefsende

[1] Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme. t. IV. 1836. p. 246.

und aufsteigend durchkreiste Brücke bildete. Nach ungefähr 20′ gab er, auf die Zuleitungsgefäfse des Multiplicators aufgelegt, einen Ausschlag von 40° in absteigendem Sinne. Diese Wirkung ist zunächst als der Unterschied der des aufsteigenden Froschstromes und der der Polarisation zu betrachten; bei aufsteigender Strömungsrichtung der Säule erhält man viel beträchtlichere Wirkungen, an denen jedoch der Antheil der Ladung von dem des Froschstromes begreiflich durch kein sicheres Kennzeichen zu unterscheiden ist.

II. Ich suchte mich nun zuerst zu überzeugen, dafs diese Wirkung in der That vom Frosch ausgehe, und nicht etwa darauf beruhe, dafs das Becken aus dem Gefäfs der negativen Elektrode von dem sich daselbst ansammelnden Wasserstoffe etwas ins Zuleitungsgefäfs mit sich nehme, wodurch eine Wirkung in demselben Sinne hervorgebracht werden könnte. Ich schaltete deshalb noch zwei den ersten ähnliche Gefäfse mit Kochsalzlösung ein, verband sie mit jenen durch wohl mit dergleichen Lösung getränkte Baumwollendochte, und schlofs nun mit dem Frosch zwischen denselben, wobei jene Quelle des Irrthums wegfallen mufste. Der Erfolg blieb derselbe und die ausgesprochene Besorgnifs dürfte wohl um so mehr als ungegründet angesehen werden, da ich fand, dafs ein Papierbausch, oder eines der oben S. 219 beschriebenen Schliefsungsrohre, mit dem einen Ende dicht an der mit Wasserstoffschaum bedeckten negativen Zinkelektrode in die Kochsalzlösung getaucht, keine deutliche Wirkung am Multiplicator gab.

III. Die Polarisation der thierischen Glieder erreicht zwar bei weitem langsamer als die von Metallen ihr Maximum, jedoch, so weit sich dies festsetzen läfst, innerhalb 10 — 20′ bestimmt. Darüber hinaus kann man die Kette stundenlang geschlossen lassen, ohne eine Vergröfserung der Wirkung zu verspüren. Die Stärke derselben ist in hohem Grade abhängig von der Stärke des Stromes. Diese Ladungen sind sehr vergänglich; ein Froschschenkel, der eben erst, noch unter dem Einflufs der Polarisation, 17° absteigend gegeben hatte, gab wenige Minuten darauf aufgelegt bereits 9° aufsteigend.

IV. Indessen ist diese Vergänglichkeit, wie es scheint, zum Theil an die Lebenseigenschaften der Muskeln geknüpft. Es ist etwas noch in den vom Gesammtorganismus getrennten Gliedern vorhanden, welches die Störung durch den Strom sowohl hemmt, als auch auszugleichen bemüht ist, sowie durch Unterbrechung desselben jener während seiner Dauer im Gleichgewicht gehaltenen Thätigkeit freier Spielraum gelassen wird. Ein gekochter Schenkel nämlich, der als völlig todt zu betrachten ist, sich nicht mehr zusammenzieht, und nur noch eine Spur eines

verkehrten Stromes oder gar keine mehr giebt, [1] nimmt, so weit sich dies ausmachen läfst, leichter Ladungen an als ein lebender und behält sie auch längere Zeit an sich, was folgendes Beispiel zeigt. Ein gekochter Schenkel ward dem Strom der Grove'schen Säule ausgesetzt. Nach Verlauf einiger Minuten gab er 33° Ausschlag aufsteigend; dann nach und nach in Abständen von 7 — 8′ untersucht 14°; 13°; 11°.5; 7° Ausschlag in demselben Sinne. Nach einer halben Stunde also war die Polarisation noch merklich vorhanden. Wie sich lebende, dem unversehrten Organismus noch einverleibte Gliedmafsen gegen die Peltier'schen Ladungen verhalten, wird nachmals zur Sprache kommen. Ein besonderer Grund, weshalb es scheinen könnte, als ob todte thierische Glieder leichter dergleichen annehmen, wird uns gleichfalls später bekannt werden. Durch fortgesetztes Kochen werden übrigens die Ladungen eines bereits polarisirten Schenkels sehr bald vernichtet, durch kurze Zeit lang währendes wenigstens schnell stark geschwächt.

V. Man findet, dafs das Ende des Frosches, wo der Strom der Säule eintrat, alkalisch, dasjenige, wo er austrat, sauer auf Lackmuspapier reagirt. Ich habe mich dabei nicht etwa durch die natürliche alkalische Reaction des Eiweifses der thierischen Glieder einerseits, andererseits durch die möglicherweise vorkommende saure Beschaffenheit des Harns und Darmschleims am Beckenende täuschen lassen, denn ich habe eben so gut die Säure bei absteigendem Strome der Säule an den Füfsen, und alsdann am Becken, wo vorher der Harn beiläufig neutral reagirte, das Alkali erkannt. Auch können diese Reactionen nicht von den Zersetzungsstoffen der Elektroden herrühren, denn in dem vorliegenden Falle sammelte sich gerade das Alkali an der Zinkplatte des Fufsgefäfses, während die Oberfläche der des Beckengefäfses begreiflich neutral reagirte. Dies ist der Umstand, mit dessen Hülfe auch noch Monro's und Volta's elektrische Geschmacksversuche, wobei die Zunge nicht unmittelbar mit dem Metall berührt wurde, mit der elektrolytischen Theorie des elektrischen Geschmacks möglicherweise in Einklang gebracht werden könnten. S. den vorigen Paragraphen S. 287 Anm. 2.

VI. Von diesen an der Grenze der thierischen Theile und der Kochsalzlösung angesammelten Zersetzungsstoffen könnte man nun geneigt sein, die Polarisationserscheinungen abzuleiten. Allein die weitere Erfahrung ist dem entgegen. Wenn man an einem gekochten Schenkel, möglichst schnell nachdem er polarisirt worden ist, den Unterschenkel,

[1] S. unten, 3. Abschn., Kap. V. §. III. 1 (1).

oder sonst einen einzelnen Theil herausschneidet, der in keiner Berührung mit der Salzlösung war, findet man ihn gleichwohl, wenn auch, seiner geringeren Ausdehnung halber in geringerem Grade, nach derselben Seite elektromotorisch wirksam, wie den ganzen Schenkel. Der Sitz der PELTIER'schen Ladungen ist also nicht, wie der an metallischen Elektroden, allein an der Grenze der festen Theile (hier der organischen Gebilde) und der Flüssigkeit zu suchen. Sondern da sich die nämlichen Bedingungen, die an dieser Grenze obwalten, auf allen Punkten im Innern der thierischen Glieder wiederholen, etwa wie dies für die Polarisation fester Elektroden bei Platinschwamm oder Kohle der Fall sein würde, so sind auch die elektromotorischen Kräfte, deren Sitz sonst blofs diese Grenze zu sein pflegt, hier auf allen Punkten der Ausdehnung der thierischen Glieder in der Richtung des Stromes gleichmäfsig vorhanden. Hierdurch werden übrigens erst der Widerstand, den lebende Muskeln der Annahme der Polarisation entgegenstellen, und die Schnelligkeit verständlich, womit sie dieselbe auszugleichen bestrebt sind; was beides gar keinen Sinn haben würde, wenn es sich um eine blofse Ueberziehung gewisser Punkte der Oberfläche mit Zersetzungsstoffen handelte.

VII. Da auch gekochte Muskeln Polarisation annehmen, so ist klar, dafs nicht etwas dem Lebens-, sondern dem Aggregatzustande Eigenthümliches Bedingung dazu sei. Ich durfte demnach erwarten, auch noch an andern Körpern von ähnlicher Beschaffenheit Spuren derselben Erscheinung wahrzunehmen. Zunächst suchte ich zu ermitteln, ob nicht der von POGGENDORFF bemerkte besondere Widerstand einer Scheidewand aus thierischer Blase auf diesem Umstand beruhen möchte. [1] Allein ein aus feuchter Schweinsblase zusammengerollter Bausch gab kein Zeichen von Polarisation. Ebensowenig glückte es mir, dergleichen von einem in Gestalt eines Bogens bearbeiteten Stücke sehr dichten porösen Thones zu erhalten, der, um ihn ganz mit Wasser durchdringen zu machen, zuvor darin gesotten war. Hingegen ein ähnlicher aus Weifsbüchenholz (Carpinus Betulus LINNÉ) geschnitzter Bogen, an dem die Holzfaser in einer dem den Bogen halbirenden Radius parallelen Richtung verlief, und der eine halbe Stunde lang, bis er untersank, in Wasser gekocht worden war, gab die allerstärkste Polarisation, indem er die Nadel mit Heftigkeit an die Hemmung warf. Diese Ladungen zeigten sich sehr vergänglich; beim zweiten Auflegen erfolgten nur noch 17°, beim dritten 7°; Siedhitze vernichtete sie sehr schnell. Selbst nach 10′ langem Aufliegen liefsen sich hier keine Spuren von Säure

[1] POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1841. Bd. LII. S. 544.

und Alkali an den Enden des Bogens unterscheiden. Der Versuch gelang auch, wenn ich mich der Anordnung mit den vier zu zwei durch Baumwollendochte verbundenen Gefäfsen bediente. Höchst auffallend ist, dafs ein Stück vom Nackenbande eines Kalbes mir in mehreren aufeinanderfolgenden Versuchen, welche keinen Zweifel übrig lassen konnten, verkehrte, d. h. dem ursprünglichen Strom gleichgerichtete Polarisation zeigte. Liefs ich den Strom in der anderen Richtung durchgehen, so kehrte sich auch die Polarisation mit um und wurde wieder dem primären Strom gleichläufig. Man erinnert sich, dafs auch in einigen sehr wenig gekannten Fällen Metalle positiveren Schlages das gleiche räthselhafte Verhalten darbieten (S. oben S. 236). Die durch einen Zirkelschnitt unter den Armen ringsum vom Rumpf gelöste, dann abgezogene Haut eines Frosches endlich gab nach 10′ langem Schliefsen des Kreises einer zwölfgliedrigen Grove'schen Säule mehrmals eine Spur von Polarisation in dem richtigen, d. h. dem dem ursprünglichen Strome entgegengesetzten Sinne.

Bei diesen Erfahrungen über die Peltier'schen Ladungen, deren Theorie wohl noch sehr im Dunkel liegt, können wir es vor der Hand bewenden lassen. Ich habe nicht versäumen wollen, dieselben hier einzuschalten, weil wir ihrer in der Folge bei mehreren Gelegenheiten bedürfen werden. Alsdann werden noch einige Bemerkungen Platz finden, deren Bedeutung dort erst verständlich geworden sein wird. Wie Peltier mit Hülfe dieser Thatsache die Oeffnungszuckung erklären wollte, ist nicht leicht einzusehen, da doch diese Ladungen, um einen Strom durch den Nerven hervorzubringen, allem Anschein nach eine geschlossene Kette brauchen dürften, diese Bedingung aber eben durch das Oeffnen verloren geht. Leichter freilich ist zu begreifen wie man hat hoffen können, in dieser neuen Art der Polarisation einen Anhaltspunkt für die Ableitung der Erscheinung der Abwechselungen zu entdecken. Ich weifs nicht, ob dieser Gedanke Matteucci angehört oder wem sonst: dieser Physiker läfst sich indefs an mehreren Orten angelegen sein, denselben zu widerlegen.

Die dabei zu Grunde liegende Vorstellung ist nämlich die, dafs der Strom der Kette durch die auf den thierischen Gliedern entwickelten Ladungen so geschwächt wird, dafs er keine Zuckungen mehr zu erregen vermag. Wird das Präparat umgelegt, so summiren sich Ladungen und ursprünglicher Strom und nun vermögen Zuckungen zu erscheinen. Dazu kommt der beiden Erscheinungen gemeinsame Umstand, dafs die Ladungen, so wie die Veränderung, auf der die Abwechselungen beruhen, nach Unterbrechung des Stromes, der sie hervorgerufen hat, in gleicher Weise bald durch die innere sich selbst-

ergänzende Thätigkeit der organischen Gebilde aufgehoben werden, welche sich auch ihrem Zustandekommen widersetzte. Die Unhaltbarkeit jener Ansicht liegt jedoch auf der Hand, wenn man bedenkt, dafs die Summe der elektromotorischen Kräfte, welche, dem primären Strom entgegen, auf den thierischen Gliedern thätig sind, verschwindet gegen die in gleichem Sinne in einer Kette von unbeständiger Kraft von auch nur wenig Plattenpaaren wirksamen.

Dies durch Versuche darzuthun, ist denn auch das Ziel von Matteucci's Beweisführung. Er schaltet, aufser dem Frosch, einen Multiplicator in den Kreis ein, und findet, dafs durch das Umlegen des Frosches die Ablenkung nicht, wie es im andern Falle sein müfste, vergröfsert erscheint. [1] Matteucci's eigene Theorie der Abwechselungen werden wir später, im Verein mit der der Zuckungen überhaupt, kennen lernen.

### δ. Nobili's *elektrisches Heilverfahren beim Tetanus.*

Schliefslich knüpfe ich hier ein Paar Worte über einen, nicht nur in wissenschaftlicher, sondern möglicherweise noch in anderer Beziehung wichtigen Gegenstand an, der, wenn ihm, wie dies kaum zu bezweifeln ist, etwas Wahres zu Grunde liegt, entschieden in dies Gebiet der Veränderungen der Erregbarkeit durch anhaltende Ströme gehört. Ich meine Nobili's elektrisches Heilverfahren beim Tetanus. Seine Mittheilung findet sich als Anhang zu dem Aufsatze über das Gesetz der Zuckungen, den wir vorher verliefsen, um das besagte Gebiet kurz zu durchstreifen und auf den wir alsbald zurückkommen werden.

Es geschieht nicht selten, dafs nach Galvani's Vorschrift frisch zubereitete Frösche ohne bekannte Ursache in den heftigsten Tetanus verfallen. Von dieser Thatsache selbst soll an einer späteren Stelle die Rede sein. Nobili beobachtete zufällig, dafs ein in diesem Zustande befindlicher Frosch durch das Hindurchleiten eines stetigen Stromes in der einen Richtung beruhigt wurde, während die andere keine Veränderung hervorbrachte. Von dieser Richtung sagt er nichts bestimmtes aus, und hat auch den Fall selbst nur wenigemal beobachtet. Er empfiehlt diese Wahrnehmung der Aufmerksamkeit der Aerzte. (Ibid. p. 91 — 93.)

Fast zehn Jahre später erst nahm Matteucci dieselbe auf, und behauptete durch zahlreiche Versuche festgestellt zu haben, dafs

[1] Bibliothèque universelle etc. Décembre 1838. Nouvelle Série. t. XVIII. p. 359. — Essai etc. p. 15. 16.

die aufsteigende Strömungsrichtung den Tetanus aufhebe, während die absteigende ihn erhöhe. Er hat auch, zusammen mit Farina, einen Versuch an einem an Tetanus traumaticus in Folge eines Schrotschusses in den Unterschenkel leidenden Manne angestellt, wobei, seiner Aussage zufolge, der vom Kreuzbein nach dem Nacken aufsteigende Strom einer 30—40paarigen Säule in der That die Krämpfe vorübergehend löste. »Le passage du courant faisait, au premier coup, disparaître entière»ment la convulsion, le malade ouvrait la bouche, la circulation repre»nait son cours naturel; malheureusement ces améliorations n'étaient »que passagères.« Der Vorsichtsmafsregeln, die dabei getroffen wurden, damit der Eintritt des Stromes keine Zuckung hervorbringe, ist bereits oben S. 267 in anderem Bezuge gedacht worden. [1]

Im *Traité etc.* nimmt jedoch Matteucci seine Behauptung, die beschwichtigende Wirkung des alleinigen aufsteigenden Stromes betreffend, stillschweigend zurück, und sagt nur noch von Fröschen, die durch Opium(??) oder Strychnin in Tetanus versetzt seien: »Si alors »on fait passer dans ces animaux, pris dans ce dernier état, un cou»rant électrique d'une certaine intensité, on voit, en le prolongeant, cesser »la roideur de leurs membres, et les secousses disparaissent. Ces gre»nouilles meurent après un certain temps, mais sans donner de signes »de tétanos. Afin de rendre moins forte la contraction qui »a lieu au commencement du courant, il vaut mieux employer »le courant inverse.« [2]

Die Theorie des Vorganges ist nach Nobili die, dafs die Nerven durch den Strom in einem bestimmten Zustande festgehalten werden, in dem sie unvermögend sind, die Veränderungen einzugehen und fortzupflanzen, deren Wirkungen wir als Zuckungen wahrnehmen. Dies kann nun sowohl der auf- als der absteigende Strom bewerkstelligen, nur scheint es, als müsse, um auch über die Zeit des Stromes hinaus dauernde Wirkung zu erhalten, hier vorzugsweise der Strom gewählt werden, der eine solche Veränderung nach sich zieht, dafs das nachmalige Uebergehen der Nerven daraus in den natürlichen Zustand keine Zuckungen zur Folge hat; bei Fröschen jenseits Ritter's dritter Stufe der Erregbarkeit also der absteigende.

Ich selbst bin noch nicht im Besitze eigener zuverlässiger Erfahrungen über diesen schwer zu untersuchenden Punkt. Wahrscheinlich gehört indefs hieher folgende Erscheinung, die mir zur Zeit, wo ich

[1] Comptes rendus etc. 13 Mai 1838. t. VI. p. 680. — L'Institut. t. VI. No. 229. p. 157. — Bibliothèque universelle. Mai 1838. Nouvelle Série. t. XV. p. 188; — Décembre 1838. t. XVIII. p. 362. — Essai etc. p. 28. 29.

[2] Traité etc. p. 270.

sie beobachtete, völlig räthselhaft blieb, indem ich mit den hier erörterten Grundsätzen und Thatsachen selbst noch unbekannt war. Der Nerv eines äufserst erregbaren stromprüfenden Schenkels, welcher Schliefsungs- und Oeffnungszuckung auf den eigenen Strom gab, war im Austrocknen begriffen. Demgemäfs zeigte der Gastroknemius eine dichtgedrängte Reihe kleiner ungleicher Zuckungen, öfters durch einen tieferen Stofs unterbrochen. Dies fand statt, so lange der Nerv frei schwebend gehalten wurde. Man erinnert sich aus der Geschichte des Froschstromes, dafs, einer Bemerkung Volta's zufolge, die Zuckung ohne Metalle erst dann erscheint, wenn der Nerv mit der Achillessehne und ihrer Ausbreitung in Berührung kommt. Erst dann ist also die Muskelkette als geschlossen anzusehen. Der Grund dieses Verhaltens wird später klar werden. Es zeigte sich nun, dafs das Zucken des Muskels fortdauerte, wenn der Nerv, auf den Muskel herabgelassen, nur das Fleisch desselben berührte, dafs aber auf der Stelle die vollkommenste Ruhe eintrat, so wie der Nerv die Ausbreitung der Achillessehne erreichte. In diesem Falle war der Nerv, wie man erfahren wird, aufsteigend durchflossen. [1]

So wenig ich demnach Grund habe, die Richtigkeit der Nobili-schen Angaben zu bezweifeln, so zweideutig scheinen mir auf der andern Seite die Hoffnungen zu sein, die sich für die Heilkunde an diese Thatsache knüpfen dürften. Die Möglichkeit, tetanische Krämpfe des menschlichen Körpers auf diese Weise vorübergehend zu lösen, will ich nicht in Abrede stellen. Ich weifs auch den Werth zu schätzen, der in dieser qualvollen und schnell erschöpfenden Krankheit einem Palliativmittel zukommen würde, welches das wesentliche Symptom derselben wenn auch nur zeitweise mit Erfolg zu bekämpfen vermöchte. Allein ich glaube, dafs, bei der schweren Zugänglichkeit des menschlichen Rückenmarks für elektrische Ströme inmitten einer leitenden Masse wie der des Rumpfes, Stromstärken zu diesem Erfolge nöthig sein würden, welche, nach dem, was man über die Wirkungen derselben aus Ritter's und Anderer Versuchen weifs, das neue Palliativmittel zu einem keinesweges unbedenklichen machen dürften; es sei denn, dafs, was nicht unmöglich ist, die Empfänglichkeit des Nervensystems für den Strom im tetanischen Zustande sich gröfser als sonst erwiese. [2] Dem sei wie ihm wolle, ich hielt es für meine Pflicht, diese Gelegenheit nicht

[1] S. unten, 3. Abschn. Kap. II. §. III.

[2] Ritter in Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VII. S. 477. * — Most, über die grofsen Heilkräfte des Galvanismus u. s. w. S. 93. * — Ueber erhöhte Reizempfänglichkeit für den elektrischen Strom bei einem mit Strychnin Behandelten s. Matteucci in den Comptes rendus etc. 24 Avril 1843. t. XVI. p. 935. *

zu verabsäumen, die den tetanischen Zufällen gegenüber noch immer so unvermögende Heilkunst abermals auf den Dienst aufmerksam zu machen, der ihr hier von der Elektrophysiologie angeboten wird, welche freilich längst zu ihr in demselben Verhältnifs mifsbrauchten und daher verwirkten Vertrauens steht, wie zur Physiologie selbst.

### b. Nobili's Theorie der Zuckungen.

Wir haben jetzt von der ganzen Lehre der Veränderungen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten, in ihrem bisherigen Zustande, Kenntnifs genommen. Dafs Matteucci einzelne Punkte daraus später als neue Entdeckungen bekannt gemacht hat, kann wohl nur als ein mäfsiger Fortschritt derselben betrachtet werden und es wird daher auch erst unten, bei Abhandlung seiner sonstigen Leistungen in diesem Gebiete, davon die Rede sein. Jetzt kehren wir zu Nobili zurück.

Ritter hatte bereits die Idee gefafst, dafs der Schliefsungsschlag auf dem Eintritt eines während der Dauer der Schliefsung anhaltenden Zustandes beruhe, der Oeffnungsschlag auf dem Austritt aus diesem Zustande, daher er sich des Ausdrucks bedient, der Organismus ertheile sich den letzteren selbst: [1] allein das mystische Gewand, welches so vielen seiner sonst richtigen Gedanken Abbruch gethan, hat auch diese, wie sich zeigen wird, nicht unfruchtbare Vorstellungsweise in dem Dunkel verkommen lassen, in das er sie gehüllt hatte. Klarer schon sehen wir dieselbe in Erman's obgedachtem Versuch einer Theorie der Zuckungen ans Licht treten. Nobili jedoch war es vorbehalten, sie jetzt in jener bündigen, sich auf den Thatbestand einschränkenden, und doch von demselben aus die ferneren Möglichkeiten befassenden Weise auszusprechen, welche, wenn nicht die naturwissenschaftliche Methode selber, doch gewissermafsen ihr Ausdruck und Abbild ist.

Nachdem er an die Thatsache der Abwechselungen erinnert hat (Ibid. p. 70), stellt er folgende Grundsätze auf:

»Der absteigende und der aufsteigende Strom üben auf den Ner»ven eine verschiedene Wirkung aus, und verändern ihn jeder auf be»sondere Weise. Wir wollen diese beiden Veränderungen mit dem »Namen der Ströme bezeichnen, denen sie ihren Ursprung verdanken, »also als absteigende und aufsteigende Veränderung.« (Altération directe, altération inverse; alterazione diretta, alterazione inversa.) Es ist vielleicht nicht unnütz, zu bemerken, dafs in der Annahme einer verschiedenartigen Veränderung des Nerven durch beide Ströme, ob-

[1] Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 2. S. 79.

schon Nobili nur Volta's Versuch, und nicht die Deutsche Lehre vom exaltirenden und deprimirenden Einfluſs des auf- und absteigenden Stromes kannte, nichtsdestoweniger nichts Hypothetisches lag; denn der Umstand, daſs jeder Strom den Nerven für seinen eigenen Reiz unempfänglich, dagegen für den des anderen empfänglicher macht, reicht hin, um dieselbe zu begründen.

».... Was die gewöhnlichen Zuckungen des Frosches anbetrifft, »so ist zunächst zu bemerken, daſs sie nur beim Schlieſsen und Oeffnen »des Kreises stattfinden: also nur, wenn der Nerv plötzlich seinen Zu»stand verändert. In der That wissen wir, durch einen schönen Ver»such des Hrn. Marianini, daſs man den Strom nur allmählig in den »Frosch einzuführen braucht, um die Entstehung einer Zuckung zu ver»hindern« .... (S. oben S. 267.).... »Der Nerv wird also nur wirk»sam durch den Strom erregt, wenn dieser ihn plötzlich aus einem »der folgenden drei Zustände in einen andern derselben überführt: »1) Natürlicher Zustand, wie vor der Wirkung des Stromes, 2) ab»steigende Veränderung, durch den absteigenden Strom, und 3) aufstei»gende Veränderung, durch den aufsteigenden Strom hervorgebracht« (p. 73). Hieraus geht nun zunächst der Mechanismus der Voltaïschen Abwechselungen hervor; mit Hülfe des Grundsatzes nämlich, daſs jene beiden Veränderungen, nach Entfernung der Ursache, die sie hervorrief, je nach der Zeit die diese Ursache verweilt hatte, sogleich spurlos verschwinden, oder noch eine Weile bestehen (p. 72. 73). Denn im letzteren Falle wird, wie man sieht, Oeffnen und Schlieſsen den Nerven nicht mehr aus dem veränderten in den natürlichen Zustand, und umgekehrt, überführen können, da der erstere eine gewisse Zeit über die Oeffnung der Kette hinaus dauert. Mit Leichtigkeit ergiebt sich aber die Bedingung für das Erhalten der gröſstmöglichen Zuckung. »Zwei Be»dingungen,« sagt Nobili, »bestimmen diese Gröſse; erstens, daſs der »Nerv aus dem einen Zustand in den andern übergeführt werde, für's »zweite, daſs der Uebergang möglichst schnell vor sich gehe. Die »stärkste Zuckung wird demnach stattfinden, wenn der gröſstmögliche »Unterschied der Zustände mit der gröſstmöglichen Geschwindigkeit »des Ueberganges aus dem einen in den andern Zustand zusammen»trifft« (p. 73). Daraus erklärt sich die Heftigkeit der Zuckungen beim Umlegen des Frosches in der Erscheinung der Voltaïschen Abwechselungen. Dies ist zugleich die physiologische Deutung oder eigentlich der allgemeine Sinn des in §. II von uns aufgestellten Gesetzes der Nervenerregung durch den Strom.

Dann zum Gesetze der Zuckungen übergehend, wie er es aufgestellt hat (S. oben S. 364), hebt Nobili zunächst den eigentlich zu er-

klärenden Punkt deutlich hervor. »Jeder Strom strebt in zwei ver»schiedenen Zeiten den Frosch zum Zucken zu bringen, beim Schliefsen »der Kette, und beim Oeffnen derselben. Auf der ersten Stufe der »Erregbarkeit sind alle vier Zuckungen nahezu gleich. Nähmen sie »alle mit der Erregbarkeit des Nerven in gleichem Mafse ab, so böte »die Erscheinung gar nichts Besonderes dar. Das Befremdende besteht »darin, dafs, von der ersten Stufe abwärts, die vier Zuckungen nach »und nach so ungleich an Stärke werden, dafs sie sämmtlich nachein»ander verschwinden. Zwei darunter verschwinden viel früher als die »beiden andern, und können daher als die schwachen bezeichnet »werden. Folgendes ist die Reihefolge des Verschwindens:

»1°. Schliefsungszuckung des aufsteigenden Stromes; es ist die »schwächste von allen.

»2°. Oeffnungszuckung des absteigenden Stromes; minder schwach.

»3°. Oeffnungszuckung des aufsteigenden Stromes; die zweit»stärkere.

»4°. Schliefsungszuckung des absteigenden Stromes; es ist die »stärkste (p. 74).

»..... Die Gleichheit der Zuckungen auf der ersten Stufe mufs »nicht so aufgefafst werden, als ob der Strom in allen vier Augen»blicken gleich stark einwirkte. ..... Vielmehr findet allerdings in jedem »Falle eine besondere Wirkungsweise desselben statt; da aber die Er»regbarkeit des Nerven auf ihrem Gipfelpunkt ist, so erfolgt unter »allen Umständen allzuheftige Zuckung, als dafs irgend ein Unterschied »in der Erregungsart wahrgenommen werden könnte. Was diese Er»klärung äufserst wahrscheinlich macht, ist, dafs auf dieser Stufe der »Erregbarkeit ein viel stärkerer Strom statt eines sehr schwachen an»gewandt werden kann, ohne dafs sich in den Zuckungen eine dem »Unterschiede der Stromstärken angemessene Ungleichheit wahrnehmen »liefse....« Nobili stellt sich vor, dafs der Nerv durch jeden Strom in der Richtung dieses Stromes selbst stärker erregt werde, als in der entgegengesetzten. Vermindert sich daher die Erregbarkeit, und tritt die zweite Stufe derselben ein, so ist die Erregung nach der letzteren Richtung so schwach geworden, dafs keine Zuckung mehr die Folge davon sein kann. Deshalb bleibt die Schliefsungszuckung des aufsteigenden Stromes aus. Allein die absteigende Veränderung sei ein dem Nerven minder fremder, minder gewaltsamer Zustand, als die aufsteigende Veränderung; daher die stärkere Oeffnungserschütterung des aufsteigenden im Verhältnifs zu der des absteigenden Stromes, da dieselben auf dem Rückkehren des Nerven aus dem veränderten Zustande in den natürlichen beruhen. Dies ist, wie man leicht bemerkt, eben nicht der

glücklichste Punkt in Nobili's Zergliederung der Zuckungserscheinungen. Die Ableitung des Vorganges auf der dritten, vierten und fünften Stufe ergiebt sich, dem Gesagten nach, nunmehr von selbst (p. 75. 77). Der eigentliche Kunstgriff in dieser Erklärungsweise, auf den ich noch aufmerksam machen will, ist der, die gleiche Stärke der Zuckungen auf der ersten Stufe der Erregbarkeit nicht mit einer gleichen Stärke der Einwirkung des Stromes zu verwechseln, sondern sie als Ausdruck des nicht weiter gehenden Maximums der Erregung unter allen Umständen aufzufassen, wo, wie z. B. auch beim Maximum der Polarisation der Elektroden, kein Gesetz mehr durchblicken könne.

### C. *Fernere Erfahrungen* Nobili's *im Gebiete des Gesetzes der Zuckungen.*

Wir kommen jetzt zu einem Punkte, der in mancherlei Hinsicht unsere ganze Aufmerksamkeit in Anspruch zu nehmen geeignet ist: zur Betrachtung der Schwankungen, denen nach Nobili das Gesetz der Zuckungen verschiedenen Umständen entsprechend unterworfen ist. Die bisherigen Erfahrungen waren sämmtlich mit einem Kupferplatin-, oder Kupfereisenbogen gewonnen. Es fragt sich, wie die Erscheinungen sich in dem Falle gröfserer Stromstärken gestalten. Da die Oeffnungszuckung des aufsteigenden Stromes der aufsteigenden Veränderung ihren Ursprung verdankt, so sieht man von vorn herein die Möglichkeit, dafs dieselbe, bei steigender Stärke der Stromes, dergestalt überhand nehmen könne, dafs dadurch sogar die Schliefsungszuckung des absteigenden Stromes übertroffen werde. Und in der That sei dies bereits nicht selten bei Anwendung eines Platinzinkbogens der Fall, weshalb er im Allgemeinen schliefst: »que la loi des contractions n'est pas constante, »qu'elle varie avec l'intensité des courants.« Näher geht Nobili auf diesen Punkt, auf den er jedoch grofsen Werth zu legen scheint, nicht ein. Es ist daher nicht wohl möglich, seine Aussagen hierüber mit denen Ritter's in Verbindung zu setzen, der, wie man sich erinnert, behauptete, eine je gröfsere Stromstärke man in Anwendung bringe, eine um so spätere Sprosse seiner Stufenleiter der Erregbarkeiten werde beobachtet.

Nobili machte seine Untersuchung gröfstentheils im Herbste, bei 10—15° (R.?) an äufserst kräftigen eher kleinen als grofsen Fröschen. »Ich merke diesen Umstand an,« sagt er, »weil ich mich »wenig wundern würde, wenn das Gesetz der Zuckungen nicht nur »von einer Klasse Individuen« [Thierspecies] »zur anderen, sondern »auch von einem Individuum zum andern nach der Jahreszeit schwankte.

»Unzweifelhaft ist für mich, dafs Frösche, die durch langes Fasten, oder »sonst irgend welches Leiden, wenig erregbar geworden sind, fast »stets Ausnahmen von dem Gesetze darbieten. Bei diesen Thieren ist »die erste Zuckung, welche verschwindet, sehr häufig die Oeffnungs»zuckung des absteigenden Stromes. Da dies eine der schwachen »Zuckungen ist, so fällt dies weniger auf; was aber weit seltsamer »scheint, ist, dafs man in manchen Fällen eine der starken Zuckungen »vor einer oder der anderen der beiden schwachen ausfallen sieht« (p. 77. 79). Dies ist die einzige Andeutung von dem Vorkommen des umgekehrten Gesetzes, welche sich bei Nobili vorfindet. Nicht nur aber setzt er voraus, dafs diesem Zustande ein solcher voraufgegangen sei, in dem die vier Zuckungen gleich waren, sondern er betrachtet denselben entschieden als eine seltene Unregelmäfsigkeit, welche von keinem allgemeinen Interesse und stets die Folge besonderer ungünstiger Umstände sei, denen der Frosch ausgesetzt war. Dies scheint um so bemerkenswerther, als Ritter seine Versuche, worauf er das S. 319 tabellarisch dargestellte Gesetz der Zuckungen gründet, allerdings im Winter angestellt hat, möglicherweise an ausgegrabenen und aus dem Winterschlaf geweckten Thieren, ebenso wahrscheinlich jedoch an solchen, die er vom Herbst aus aufbewahrt hatte, [1] da er (S. S. 332) von »den noch übrigen« gleich hoch erregbaren Thieren spricht. [2] Dergleichen lange Zeit während der kalten Jahreszeit aufbewahrte Frösche können oft, trotz des langen Fastens, sich aufserordentlich erregbar zeigen, wenngleich diese gewissermafsen unnatürliche Leistungsfähigkeit durch ihr schnelles Dahinschwinden an den Zustand der reizbaren Schwäche erinnert.

Von einem Gegensatz der Streck- und Beugemuskeln ist bei Nobili, der in dieser Hinsicht wohl ganz unbefangen beobachtete, nirgends mit einer Sylbe die Rede. Sieht man, wie wir das früher schon thaten, in Ritter's Tabelle von diesem Gegensatze ab, so dafs man nur Zuckung im Allgemeinen statt Zuckung der Beuger oder Strecker liest; sieht man ferner von den beiden ersten Ritter'schen Stufen ab, welche den fraglichen Punkt der Umkehr des Gesetzes enthalten, und vergleicht die übrigbleibenden vier Zustände mit den vier Stufen der Nobili'schen Tafel, so findet man, die Schliefsungszuckung des aufsteigenden Stromes auf der vierten Ritter'schen, oder zweiten Nobili'schen Stufe ausgenommen, wo hier Ruhe, dort schwache Zuckung steht, beide Gesetze völlig gleichlautend. Natürlich hat dieser geringe Unterschied

[1] Gilbert's Annalen der Physik. 1804. Bd. XVI. S. 321.

[2] Beiträge u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. S. 73.

nichts Anderes zu besagen, als dafs Nobili die Grenze zwischen seiner zweiten und dritten Stufe etwas später gelegt hat als Ritter die zwischen seiner vierten und fünften, und demnach dürfte die Richtigkeit dieses Theils des Gesetzes wohl als durch die gültigsten und von einander unabhängigsten Zeugen bewährt und über allen Zweifel hinaus angesehen werden.

Nachdem Nobili noch die Unstatthaftigkeit der Marianini'schen Lehre von den idiopathischen und sympathischen Zuckungen in helles Licht gesetzt hat (p. 81—85), beschreibt er Zuckungsversuche, welche mit Hinblick auf sein Gesetz mittelst des Froschstromes angestellt, und daher für uns von grofsem Interesse sind. Dieselben wurden unstreitig, obschon es nicht ganz deutlich gesagt ist, an derselben Vorrichtung gemacht, an der er die elektromagnetische Wirkung jenes Stromes entdeckte; indem also Wirbelsäule und Füfse des nach Galvani's Vorschrift zugerichteten Frosches in zwei Gefäfse tauchten, welche durch den mit gleichartigen Platinenden versehenen Multiplicatordraht oder durch einen Baumwollendocht u. s. w. verbunden waren. Im Allgemeinen erhält man nur die Schliefsungszuckung. Da nun der Froschstrom aufsteigend ist, so erscheint dies als eine neue Ausnahme von dem Gesetze der Zuckungen. Nobili erklärt diesen Erfolg durch die grofse Schwäche des Stromes, der unfähig sei, eine merkliche Veränderung des Nerven zu bewirken (p. 85—89). Uns aber ist es unmöglich, dabei nicht an Ritter's Gesetz zu denken, indem wir es hier augenscheinlich mit einem Frosche auf der höchsten Stufe der Erregbarkeit zu thun haben, wo also, wie dies wirklich der Fall ist, der aufsteigende Strom die Schliefsungs- und keine Oeffnungszuckung hat. Um zwischen beiden Deutungen zu entscheiden, müfste man den Strom eines Frosches absteigend durch den Nerven eines anderen gehen lassen und zusehen, ob man alsdann die Oeffnungszuckung erhielte und die Schliefsungszuckung vermifst würde, wie es das Ritter'sche Gesetz verlangt, oder ob das Umgekehrte der Fall wäre, wie dies nach Nobili stattfinden müfste. Leider hat Nobili diesen Versuch nicht angestellt.

Im Jahre 1834 wiederholte übrigens Sternberg einige der wesentlichsten Versuche dieses Gebietes. Er beobachtete an Fröschen Nobili's dritte Stufe der Erregbarkeit; Marianini's Gesetz für die Reaction der Gefühlsnerven auf den Strom aber stellt er entschieden in Abrede. »Ego quidem, quamquam pluries hoc experimentum repe»tierim, discrimen illud non animadverti. In utroque casu, si circulum »per longius temporis spatium clausum tenerem, dolorum signa appa»ruerunt.... Hocce probatum habemus, inter claudendum circulum »galvanicum convulsiones oriri, si metallo positivo nervum, musculum

»vero negativo munieris, locisque metallorum commutatis inter solven»dum circulum spasmum excitari.« [1]

Becquerel hingegen fand etwas später dieses Gesetz bestätigt; nur müsse der Strom schwach, etwa nur von einigen Elementen herrührend sein; sei der Frosch sehr reizbar, so reiche gar schon die Säure-Alkalikette von beständiger Kraft (l'appareil à courant constant) aus. [2]

## (VII) Matteucci's Gesetz und Theorie der Zuckungen.

Es bleibt uns übrig, Matteucci's hiehergehörige Leistungen kennen zu lernen. Seine erste mir bekannt gewordene Angabe über das Gesetz der Zuckungen ist vom 1. November 1830. [3] Der Hauptgegenstand der Arbeit ist die Mittheilung einer Hypothese über das Zustandekommen der Oeffnungszuckung. Nachdem er Marianini's Theorie einer Anhäufung der Elektricität in den Nerven von der Hand gewiesen, sagt Matteucci: »... Je ne vois pas pourquoi cette secousse, ou cette »contraction, qui a lieu lorsqu'on interrompt le circuit électrique, ne »serait pas attribuée au-mouvement que font les diverses parties du »muscle en se replaçant dans leur position primitive.« Also Matteucci stellt sich vor, ein Muskel bleibe während der ganzen Dauer des Geschlossenseins der Kette zusammengezogen; er hat — wie sollte er, da dies noch jetzt nicht entfernterweise der Fall ist [4] — keinen Begriff von dem allgemeinen Gesetze der Nervenerregung durch den Strom; er glaubt, dafs das Aufhören der Zusammenziehung seit vierzig Jahren von den trefflichsten Beobachtern mit einer neuen Zusammenziehung habe verwechselt werden können; und er unterfängt sich, mit dergleichen Behauptungen kaum ein Jahr nach Nobili's Untersuchung über das Gesetz der Zuckungen, die ihm völlig bekannt ist, ja die er gänzlich bestätigt zu haben vorgiebt, ans Licht zu treten!

Marianini liefs Matteucci's Angriff auf seine Theorie nicht unerwiedert. Von seiner Vertheidigung derselben wollen wir schweigen, und sie selbst gern Matteucci Preis geben; um so treffender aber führt Marianini seinem Gegner die Ungereimtheit seiner eignen Ansicht zu Gemüthe. Seine Widerlegung spitzt sich nicht unpassend in dem Ausdruck zu: »parcequ'enfin les physiciens ont vu dans ce phéno-

[1] Experimenta quaedam ad cognoscendam vim electricam nervorum atque sanguinis facta. Bonnae 1834. p. 7.

[2] Traité expérimental etc. t. IV. 1836. p. 249. S. ebendas. Pfaff.

[3] Bibliothèque universelle etc. Ancienne Série. 1831. t. XLVI. p. 113.

[4] S. oben S. 275.

»mène de véritables contractions et non des mouvements semblables à »ceux qui n'auraient été qu'un retour à l'état naturel. Ils savaient qu'il »n'y a pas plus de ressemblance entre des contractions et le retour des »fibres à leur position naturelle, qu'entre l'action de sauter et une »chute causée par un évanouissement.« [1]

Erst viel später, meines Wissens im *Essai etc.* (1840), kam MATTEUCCI von Neuem auf diesen Gegenstand zurück, der ihm, wie es scheint, durch den erfahrenen Widerspruch verleidet worden war. Obschon er in jener ersten Mittheilung NOBILI's Arbeit kennt, und seine Angaben, wie bemerkt, in allen Punkten bestätigt zu haben vorgiebt, heifst es jetzt hier, p. 2: »Nous devons à MM. LEHOT et BELLINGERI »et enfin à M. MARIANINI, la découverte de ces lois très-importantes »de physiologie électrique.« Dafs des verstorbenen NOBILI's Name hier nicht erwähnt wird, erklärt sich vielleicht aus den oben S. 113 angedeuteten Vorgängen; erst im *Traité etc.* (p. 19. 196) ist MATTEUCCI das Gedächtnifs wiedergekehrt, denn die sonst unverändert abgedruckte Stelle heifst nun: »Nous devons aux travaux de LEHOT, de BELLINGERI, »et surtout à ceux de NOBILI et de MARIANINI, que nous avons déjà »cités dans l'introduction historique, toutes nos connaissances sur ce »sujet.« Ich kann im Vorübergehen nicht umhin, abermals die Zuversicht zu rügen, mit der hier der geschichtliche Thatbestand in vollkommener Entstellung vorgetragen wird. Es heifst, wie man sieht, ausdrücklich: »toutes nos connaissances sur ce sujet«; die ganze Welt von tiefsinnigen Forschungen, die in Deutschland, abgesehen von GALVANI's und VOLTA's Arbeiten, längst über diese Sache angestellt und nur in Vergessenheit gerathen waren, weil alles bereits so auf die Spitze getrieben worden, dafs mit den damaligen Hülfsmitteln nichts mehr zu thun übrig schien: diese Welt existirt für den kurzen Blick des Italiänischen Elektrophysiologen nicht, der doch selbst noch weit entfernt ist, den Standpunkt erreicht zu haben, auf welchem bei uns vor vierzig Jahren die ermüdeten Streiter stehen geblieben sind.

MATTEUCCI stellt im *Essai etc.* das Gesetz der Zuckungen mit einer Gewifsheit dar, die mir, bei den zahlreichen Ausnahmen, welche sich bei der eigenen Beobachtung aufdringen, wenig geeignet scheint, dem Glauben und dem Interesse an demselben Eingang zu verschaffen. MARIANINI's Behauptungen, betreffend die Beziehung des Schmerzes zur Strömungsrichtung, fügt er Folgendes hinzu: Er nagelt einen lebenden

[1] Ibid., t. XLVII. p. 371. Lettre adressée au doct. FUSINIERI, par le prof. MARIANINI, sur l'opuscule intitulé: Observations de Mr. CH. MATTEUCCI sur la contraction qu'éprouvent les animaux, au moment où l'on interrompt le circuit électrique dans lequel ils sont placés.

Frosch mit dem Bauch gegen ein Brett an den vier Füfsen fest, entblöfst den Ischiadicus in seinem Verlauf bis zur Kniekehle, und entfernt die übrigen Theile des Schenkels ganz und gar. Auf den solchergestalt freigelegten Nerven läfst er einen Strom von einem bis dreifsig Plattenpaaren wirken, indem er mit sinkender Erregbarkeit immer mehr Lagen in den Kreis zieht. Bei absteigendem Strome zeigt sich nun eine Schliefsungszuckung in dem Unterschenkel; beim Oeffnen zwar eine viel schwächere Zuckung, gleichzeitig aber biege sich das Rückgrath ein, erfahre eine Art von Erschütterung und manchmal stofse das Thier einen Schrei aus (»la partie dorsale se plie, éprouve une »espèce de secousse et quelquefois on entend la grenouille crier.«) Bei aufsteigendem Strome biege der Frosch alsbald den Rücken, wende sich hin und her, sein Athmen werde beschwerlich, er blähe sich auf und speie aus. Beim Oeffnen erfolge nichts als die Oeffnungszuckung. Brächte man an dem Nerven eine Ligatur an, und den absteigenden Strom oberhalb derselben, so erhalte man beim Schliefsen gar nichts; beim Oeffnen eine Erschütterung des Rumpfes (»secousse au tronc«), jedoch ohne Winden und Aufblähen. Bei aufsteigendem Strome erschienen dieselben Zufälle, jedoch stärker beim Schliefsen und nichts beim Oeffnen. Bringe man hingegen den Strom unterhalb des Unterbandes an, so erhalte man nur die Schliefsungszuckung bei absteigendem und die Oeffnungszuckung bei aufsteigendem Strome. Auch an drei Kaninchen will Matteucci diese Versuche mit Glück wiederholt haben. Beim Schliefsen des absteigenden Stromes einer Trogvorrichtung von 30—60 Elementen durch den Nerven, der auf einem Glasstab isolirt gehalten wurde, sah er starke Zuckungen in den Muskeln des Beines erfolgen; beim Oeffnen: »une légère contraction, une forte »secousse au dos, la tête s'est pliée et quelquefois il jeta un cri. En »fermant le circuit avec le courant inverse, on a toujours un cri aigu, »la contraction de la tête, et tous les signes de la souffrance; en »ouvrant, une contraction.« (Ibid. p. 23—25).

Schon früher war von Becquerel folgende Theorie der elektrischen Zuckungen gegeben worden. Prévost und Dumas hatten, durch die Mangelhaftigkeit der damaligen Mikroskope getäuscht, welche Linien als Reihen von Kügelchen zeigten, die Nervenröhren als flache durchsichtige Bänder beschrieben, auf welche vier rosenkranzförmige Fäden, zwei an den Säumen, und zwei minder deutliche dazwischen mehr nach der Mitte zu aufgeheftet wären. [1] Diesen Kügelchen schreibt

[1] Magendie, Journal de Physiologie expérimentale. t. III. 1823. p. 319. 320. fig. 6.*

BECQUEREL eine vollkommene Elasticität zu und denkt sich die Fortpflanzung der Nervenwirkungen dadurch auf dieselbe Weise vermittelt, wie ein Stofs sich durch eine Reihe einander berührender Elfenbeinkugeln fortpflanzt. »Si nous faisons intervenir l'électricité, nous aurons »des effets du même genre; seulement ils auront plus d'intensité: effec»tivement, quand un courant électrique traverse un nerf dans le sens »de sa longueur, peu importe la direction, que fait-il? il ébranle sur »le champ ses parties organiques, il les écarte et les tient distendues; »tant que dure son passage il n'y a pas de contraction. Son action »cesse-t-elle, il y a contraction due au retour immédiat des mêmes »parties à leur état de repos, si elle a été de courte durée et d'une »faible intensité; car, pour peu qu'elle ait été prolongée et son inten»sité un peu forte, les mêmes parties ne reprennent leur position dé»finitive d'équilibre qu'au bout d'un certain temps, pourvu toutefois »qu'il n'y ait pas eu un commencement de décomposition, par suite »de l'action électrochimique.« [1]

Diese Theorie ist, wie man sieht, Nichts weiter, als die durch eine in jeder Beziehung unhaltbare Hypothese getrübte NOBILI'sche Lehre von der »Altération directe« und »Altération inverse,« die sich ihrerseits völlig auf das Thatsächliche beschränkt hatte. Von derselben sagte aber MATTEUCCI bereits 1837: »L'hypothèse émise par M. BECQUE»REL pour expliquer les contractions musculaires, me semble rentrer dans »l'explication que j'ai donnée dans le temps de la secousse qu'éprouvent »les grenouilles lorsque le courant inverse cesse de les parcourir.« Ich weifs nicht zu sagen, ob sich dieser Erstbesitzanspruch auf eine mir nicht zugänglich gewordene Bekanntmachung MATTEUCCI's oder auf seine von MARIANINI widerlegte Theorie der Oeffnungszuckung im Allgemeinen vom Jahre 1830 (S. oben S. 391) bezieht. Ich bin geneigt das erste zu glauben, da das zweite denn doch etwas zu kühn wäre und aufserdem eine Arbeit von MATTEUCCI über die Wirkungsweise der auf die Nerven senkrechten Strömungsrichtung u. d. m. vom December 1838 [2] mit den Worten anfängt: »Nous avons vu quelle était l'influence »du courant électrique suivant qu'il parcourait les nerfs dans le sens »de leur ramification ou en sens contraire . .«, ohne dafs ich wüfste, worauf sich dies: »Nous avons vu . . .« bezieht.

Wie dem auch sei, MATTEUCCI läfst sich im *Essai etc.* die fernere Ausbildung von BECQUEREL's Theorie der elektrischen Zuckungen angelegen sein. Er erinnert zu dem Ende zunächst an den bekannten

[1] Traité expérimental etc. t. IV. 1836. p. 284. §. 968.

[2] Bibliothèque universelle. Nouvelle Série. Décembre 1838. t. XVIII. p. 357.

Porret'schen Versuch, in dem der Strom Wasser durch eine Blase aus der positiven Zelle eines dadurch getheilten Troges in die negative treibt;[1] sodann an einen Versuch von Becquerel, wo der Strom eine ähnliche fortführende Wirkung auf die Theilchen eines Thonpfropfes ausgeübt haben soll. Diesen Erfahrungen, denen sich allerdings noch mehrere beifügen liefsen, entnimmt er, woran auch Becquerel selbst bereits erinnert hatte, den allgemeinen Satz, dafs der Strom in der Richtung vom positiven nach dem negativen Pole mit translatorischen Kräften begabt sei, und bezeichnet nun die von Becquerel unbestimmt gelassene Gleichgewichtsstörung der Kügelchen als eine einfache Elongation in der Richtung des Stromes. Der Stofs derselben, wenn dies, beim Hereinbrechen des Stromes, plötzlich geschehe, pflanze sich in der nämlichen Richtung fort; daher Zuckung beim Schliefsen des absteigenden, Empfindung beim Schliefsen des aufsteigenden Stromes. Höre der Strom zu wirken auf, so kehren die Kugeln durch ihre Elasticität zur früheren natürlichen Lage zurück und es geschieht ein Stofs in der entgegengesetzten Richtung der vorhergehenden. Bei den Voltaïschen Abwechselungen sind die Kügelchen aber über die Grenze ihrer Elasticität hinaus verschoben: nur der entgegengesetzte Strom vermag sie zurückzuführen. Ebenso deutlich sei die Unwirksamkeit eines senkrecht auf die Axe des Nerven treffenden Stromes (S. oben S. 296), endlich die Unwirksamkeit eines schwächeren Stromes, der auf einen bereits durch einen stärkeren in Anspruch genommenen Nerven angewandt werde.[2]

Obschon nicht zu leugnen ist, dafs in dieser Auseinandersetzung mehr mechanisches Verständnifs herrscht als in Becquerel's, so wird der physiologische Leser doch nicht ohne Erstaunen wahrgenommen haben, dafs man 1840 eine Theorie der elektrischen Zuckungen und Empfindungen in die Welt zu setzen wagt, ohne auch nur entfernterweise eine Ahnung von der ersten und obersten Thatsache der neueren Nervenphysik zu besitzen, der Bell'schen Lehre nämlich von dem Dasein getrennter, einerseits zur Vermittelung der Bewegung, andererseits der Empfindung allein bestimmten Nervenfasern. Im Uebrigen wird, durch diese Bemerkung, der Werth von Matteucci's Theorie nicht sehr beeinträchtigt; es ist leicht, dieselbe dahin abzuändern, dafs man sich die absteigenden Wirkungen in den Empfindungs-, die aufsteigenden in den Erregungsfasern als erfolglos vorübergehend vorstellt. Man sieht jedoch, dafs dieselbe dafür vor den Fällen des umgekehrten

[1] Vergl. Fechner's Lehrbuch u. s. w. S. 356.*

[2] Essai etc. p. 37.* — Vergl. oben S. 294.

Gesetzes, die Ritter als Normalfälle betrachtet, von denen Matteucci aber nichts zu ahnen scheint, keinen Augenblick Bestand haben kann, da sich alsdann plötzlich der negative Strom statt des positiven als der mit ortverrückenden Kräften begabte erweisen würde.

In seinen späteren Arbeiten hat sich Matteucci sehr häufig des Froschschenkels als stromprüfenden Mittels bedient und alsdann die Strömungsrichtung mittelst der uns jetzt bekannten Grundsätze bestimmt. Er behauptet aber, was allerdings viel ist, dafs nur 8 bis 10 Pret Frösche eine Unsicherheit in Hinsicht derselben übrig lassen werden. Alle übrigen befinden sich, wenn nicht gleich, doch nach Verlauf von wenigen Minuten, auf der dritten Nobili'schen Stufe der Erregbarkeit. [1] Von Unregelmäfsigkeiten ist hier die Rede gar nicht; der einzige Uebelstand, den Matteucci gelten läfst, ist der, dafs der Schenkel anfangs manchmal gleichmäfsig in allen vier Augenblicken zuckt, d. h. die erste Nobili'sche Stufe der Erregbarkeit zeigt. Auch Prévost, Dumas ehemaligem Mitarbeiter, ist es gelungen, auf diese Weise die Richtung thierisch-elektrischer Ströme zu erkennen. [2]

Nobili hatte gelehrt, den Strom eines Galvani'schen Präparates, welches selbst darauf zu antworten aufgehört hat, mittelst eines frisch zugerichteten Frosches, welcher in umgekehrter Richtung gelagert wird, wahrnehmbar zu machen; er hatte hinzugefügt, dafs das stromprüfende Präparat regungslos bleibe, wenn beide Frösche sich in gleicher Richtung nebeneinander befinden (S. oben S. 105). Der letztere Umstand ward zum Gegenstand einer besonderen Prüfung von Seiten Matteucci's. Er wiederholte Nobili's Versuch mit einem einzigen auf einer isolirenden Unterlage befindlichen Galvani'schen Präparate, welches in der Längsmittelebene des Beckens dergestalt in zwei Hälften gespalten war, dafs die eine mit der andern nur noch mittelst der Nerven und des Stückes Wirbelsäule, oder gar nur künstlich auf irgend eine Weise in leitender Verbindung stand. Er fand, dafs die Beine nur dann nicht auf ihren Strom mit Zuckung antworteten, wenn man gleichnamige Theile unter einander zur Berührung brachte; Zuckung erfolgte dagegen, wenn man Fufs an Schenkel legte, oder dieselben mittelst eines Fliefspapierstreifens oder baumwollenen Dochtes unter sich oder mit verschiedenen Theilen des Unterschenkels, oder diese Stellen unter sich, in leitende Verbindung setzte. War das Präparat in Besitze seiner vollen Reizbarkeit, so zuckten beide Beine sowohl beim Schliefsen als beim

[1] Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 306. — Traité etc. p. 29. 30.

[2] Archives de l'Électricité. 1842. t. II. p. 634.

Oeffnen des Kreises; später zuckte beim Schliefsen nur noch das Bein, dessen Schenkel mit dem Fufs des andern berührt wurde; dieses hingegen beim Oeffnen. [1]

Die Deutung dieser Erscheinungen ergiebt sich leicht, unter der später zu erweisenden Voraussetzung, dafs der Strom eines Beines in dem dasselbe zum Kreise schliefsenden Bogen um so stärker ist, je weiter auseinandergelegene Punkte desselben von dem Bogen umfafst werden. Der Strom des Beines, dessen Fufs einen höher gelegenen Theil des andern berührt, überwiegt dann in dem solchergestalt gebildeten Kreise über den Strom dieses andern Beines. Er ist aufsteigend in dem Nerven desjenigen Beines, von welchem er ausgeht, absteigend hingegen in dem des andern. Zuerst nun finde Nobili's erste Stufe der Erregbarkeit statt; dann zucken beide Beine sowohl beim Oeffnen als beim Schliefsen des beziehlich in denselben auf- und absteigenden Stromes. Später tritt die dritte Nobili'sche Stufe ein; nun zuckt beim Schliefsen nur noch das Bein, in welchem der Strom absteigend ist, beim Oeffnen nur noch dasjenige, in dem er aufsteigend ist; im ersteren Falle also das, dessen Schenkel mit dem Fufs des andern berührt wird, im letzteren das, dessen Fufs den Schenkel des andern berührt.

Dieser Versuch Matteucci's findet sich, jedoch mit dem Unterschiede, dafs der Fufs des einen Beines statt mit dem Schenkel des andern Beines, bald mit seinem eigenen Nerven, bald mit dem des andern Beines in Berührung gebracht wird, bereits im *Essai etc.* p. 77 mitgetheilt, wo dann im ersten Falle beim Schliefsen die Zuckung erfolgt und beim Oeffnen ausbleibt, im zweiten beim Oeffnen erfolgt und beim Schliefsen ausbleibt. Hier hat auch Matteucci den Gegenversuch in Betreff der aus diesen Erfolgen abzuleitenden Strömungsrichtung in dem in sich selbst geschlossenen Galvani'schen Präparate gemacht, insofern er angiebt, dafs sich die Schenkel, welche diese Erscheinungen zeigten, wirklich auf der dritten Nobili'schen Stufe der Erregbarkeit befanden.

Im *Traité etc.* kommt Matteucci ausführlich auf das Gesetz der Zuckungen zurück. Er hatte, wie gesagt, inzwischen sich wieder Nobili's oben im Auszuge mitgetheilter Arbeit erinnert. Er findet nun einen Widerspruch zwischen Marianini's und Nobili's Aussagen, da der Erstere stets nur von der Schliefsungszuckung des absteigenden und der Oeffnungszuckung des aufsteigenden Stromes spricht, während

[1] Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 309. — Traité etc. p. 90.

[2] S. unten, 3. Abschn., Kap. I. §. v.

der Letztere mehrere aufeinanderfolgende Zustände der Erregbarkeit annimmt, in deren jedem das Gesetz eine gewisse Abänderung erleidet. Er sucht den Grund zu dieser Abweichung in dem Umstande, dafs man bis dahin stets die Vorsichtsmafsregel verabsäumt habe, niemals einen Nerven zweien verschiedenen Strömungsrichtungen nacheinander auszusetzen (p. 199). Dem ist jedoch nicht so. Allerdings mag Nobili, der ausdrücklich sagt, dafs man dem nach Galvani's Vorschrift zugerichteten Frosche nur den einen Nerven lassen solle, auf diesen häufig verschiedene Strömungsrichtungen haben einwirken lassen. Allein Ritter stellte, wie wir gesehen haben (S. oben S. 313. Taf. I. Fig. 16), seine Versuche immer so an, dafs er von den beiden Nerven eines solchen Frosches den einen mit dem einen, den andern mit dem andern der beiden Metalle bewaffnete, während entweder die Schenkel selbst noch unmittelbar zusammenhingen, oder die Nerven auf andere Weise, durch ein Stück Muskelfleisch, ein gleichartiges Metallstück u. s. f. in Verbindung gesetzt waren. So hatte er in dem einen Nerven die eine, in dem anderen die andere Strömungsrichtung, und brauchte, um die Wirkungen beider zu beobachten, niemals die Richtungen in jedem einzelnen Nerven zu verwechseln. Daraus, dafs nichtsdestoweniger, bis auf jenen Punkt der Umkehr des Gesetzes, Ritter's und Nobili's nach Zeit, Ort und wissenschaftlicher Denkart so weit von einander entlegene, ganz unabhängig geführte Untersuchungen Ergebnisse liefern konnten, die auf das Ueberraschendste übereinstimmen, schliefsen wir, dafs der von Matteucci angegebene Grund es schwerlich ist, weswegen Marianini's und Nobili's Versuche ein so abweichendes Verhalten zeigen. Dieser Grund liegt wahrscheinlich viel einfacher und näher darin, dafs Nobili sich zu seinen Versuchen äufserst schwacher, Marianini hingegen ganz unverhältnifsmäfsig starker Elektromotore bediente, da doch schon Ritter festgestellt hatte, dafs stärkere Säulen, durch die unbedingt herabstimmende Wirkung, die sie alsbald auf die Erregbarkeit ausüben, zur Wahrnehmung jener zarteren Abstufungen in keiner Weise geeignet seien (S. oben S. 321). Und auch nur für solche Ströme möchte die Regel, die Matteucci hier aufstellt und von nun an befolgt, gültig sein, dafs man die Nerven nur einer einzigen Strömungsrichtung aussetzen dürfe; wenn man, bei schwächeren Strömen, nicht etwa beabsichtigt, die Ketten sehr lange Zeit geschlossen zu halten.

Matteucci bleibt nun, mit Beobachtung derselben, bei folgendem Endergebnifs stehen: »On doit donc réduire à deux périodes seulement »l'action du courant électrique qui excite les nerfs d'un animal vivant: »dans la première période, l'excitation du nerf est transmise dans tous »les sens, à sa périphérie, comme à son centre, au commencement de

»l'excitation, comme à son interruption, et tout cela indépendamment »de la direction du courant dans le nerf; dans la seconde période, »l'excitation du nerf se porte vers ses extrémités par le courant direct »qui commence, ou par le courant inverse qui est interrompu; au »contraire l'excitation du nerf est transmise vers le cerveau lorsque le »courant direct est interrompu, ou quand l'inverse commence à pas»ser.« (Ibid., p. 203.) Es sei unmöglich, wie Nobili es that, die Reihefolge anzugeben, in der die Erscheinungen die eine nach der andern verschwinden. Jenes Gesetz gilt auch für todte Thiere und einzelne Glieder derselben (p. 209), wo aber begreiflich von Empfindung nicht mehr die Rede sein könne (p. 207). Um die Erscheinungen der ersten Periode hervorzurufen, wenn bereits die zweite eingetreten sei, brauche man nur einen stärkeren Strom in Anwendung zu bringen, was Ritter's Angaben widerspricht, oder, nach dem Valli'schen Gesetze, mit der Reizung an dem Nerven nach seiner Ausbreitung fortzuschreiten (p. 209), wie allerdings auch Ritter versichert (S. oben S. 324). Die Versuche an lebenden Thieren, wobei zugleich Rücksicht auf die Gefühlserscheinungen genommen werden sollte, sind an Kaninchen angestellt. Die Thiere werden mit den vier Pfoten auf ein Brett befestigt und die Ischiadnerven beiderseits 30$^{mm}$ lang frei gelegt. Diese Verletzung sei so unbedeutend, dafs die Thiere sie stets sehr leicht überlebten. Unter die wohl mit Fliefspapier getrockneten Nerven bringt Matteucci einen Streifen Wachstaffent, den er von Zeit zu Zeit weiter hindurchzieht, um stets eine isolirende Unterlage zu haben. Der eine Nerv wird durchaus nur für den absteigenden, der andere für den aufsteigenden Strom bestimmt, und die dem Strom ausgesetzte Strecke mifst mindestens 10 — 20$^{mm}$. Die Elektroden, welche den Nerven berühren, sind von Gold oder Platin. Matteucci wandte zu Anfang nur ein Zinkplatinelement, später eine zehnpaarige mit verdünnter Salzlösung geladene Säule an (p. 200 — 201). Die Bewegungen, welche die aufwärtsgehende Wirkung des Stromes begleiten, giebt Matteucci nicht für willkürliche, schmerzbezeugende, sondern für Reflexbewegungen aus, und beweist dies dadurch, dafs sie nach Durchschneidung des Rückenmarkes in den Theilen oberhalb des Schnittes zu erscheinen aufhören, in den unterhalb desselben gelegenen hingegen fortfahren (p. 204).

Im *Traité etc.* gelangt auch Matteucci wieder zu einer Ahnung der verschiedenen Wirkungsweise des auf- und absteigenden Stromes in geschlossenen Ketten, welche Ritter, wie wir wissen, bereits 1798 in seinem *Beweis u. s. w.* so erschöpfend als Exaltation und Depression der Erregbarkeit beschrieben hatte. »L'altération qui est produite dans »le nerf par le passage du courant, n'est pas indépendante de sa di-

»rection relativement à la ramification du nerf. Le courant direct dé»truit l'excitabilité du nerf beaucoup plus vite que le courant inverse.« (p. 229. 230.) Da er sich aber, nach MARIANINI's trüglichem Vorgange, wie bei allen diesen Versuchen, zu denen zwei Stücke ungleichartigen Metalles ausreichen, vielmehr Säulen von 60 — 80 Lagen bediente, so blieb ihm die exaltirende Wirkung des Stromes immer noch verborgen.

Indessen scheint ihm, laut seiner neuesten oben S. 281 bereits erwähnten Mittheilung, die in das S. 126 gegebene Verzeichnifs seiner Arbeiten noch nicht aufgenommen werden konnte, auch die Wiederauffindung dieses Umstandes endlich geglückt zu sein. Hier heifst es: »Les nerfs, qui ont été soumis au courant inverse ont gagné de l'exci»tabilité, de sorte qu'avec des stimulants très-faibles on y éveille des »contractions très-fortes, tandis que les nerfs qui ont été soumis au »courant direct ont perdu complètement leur excitabilité.... Ces varia»tions .... tendent à se détruire plus ou moins rapidement après la »cessation du courant: si le nerf est pris sur l'animal vivant ou à peine »tué, de sorte que son excitabilité soit très-grande, ces variations ne »persistent que pendant le passage même du courant, tandis qu'elles »durent plus ou moins longuement de une minute à dix ou à quinze, »si le nerf a déjà perdu de son excitabilité.« [1] Von RITTER ist dabei natürlich mit keiner Sylbe die Rede. Es ist aber in der That recht erfreulich, dafs MATTEUCCI sich auf diese Weise der Wiederholung der Versuche Jenes, TREVIRANUS, und PFAFF's unterzieht.

### (VIII) LONGET und MATTEUCCI's verkehrtes Gesetz der Zuckungen an Bewegungswurzeln.

LONGET und MATTEUCCI, der sich inzwischen mit der Kenntnifs des BELL'schen Gesetzes bereichert hatte, haben es gemeinschaftlich unternommen, das Gesetz der Zuckungen, dessen Richtigkeit sie in der Form, die ihm MATTEUCCI zuletzt ertheilt, unbedingt annehmen, statt wie bisher an gemischten Nerven, an den reinen Bewegungswurzeln selbst zu prüfen. [2] Den Fortschritt, den die Untersuchung durch Einführung dieser neuen Frage machte, wird kein Physiologe verkennen; doppelt wichtig mufs aber uns, wie man sogleich ermessen wird, von dem Standpunkte der Kenntnifs des RITTER'schen Gesetzes der Zuckungen aus das Ergebnifs der Versuche Jener erscheinen.

[1] Comptes rendus etc. 17 Août 1846. t. XXIII. p. 359. 360.*

[2] Comptes rendus etc. 9 Septembre 1844. t. XIX. p. 502.* — Annales de Chimie et de Physique. Décembre 1844. 3. Série. t. XII. p. 574.* — Archives de l'Électricité. 1844. t. IV. p. 505.*

Folgende Vorsichtsmafsregeln wurden dabei in Anwendung gebracht. Stets ward eine und dieselbe vordere Wurzel dem Strome nur in einer und derselben Richtung ausgesetzt; dieser wurde so schwach genommen, dafs er kaum zu Zuckungen Anlafs gab;[1] es ward an den Wurzeln der hinteren Extremitäten, ihrer gröfseren Länge wegen, gearbeitet, was den Vortheil darbot, leichter Nebenschliefsung durch benachbarte Theile hindern zu können; das Blut und die thierischen Feuchtigkeiten, welche die Wurzel bedeckten, wurden sorgsam entfernt; diese mittelst eines Streifens Wachstaffent, oder indem man sie an einem Seidenfaden schwebend erhielt, isolirt; endlich die Säule selbst sehr sorgfältig isolirt, wovon man sich überzeugte, indem man die Wurzel nur mit dem einen Pole berührte, wo denn alsbald hätte Zuckung entstehen müssen, wenn eine geheime Leitung zum anderen vorhanden gewesen wäre. Aufserdem wurden die Versuche unter folgenden verschiedenen Bedingungen wiederholt: bei unversehrter vorderer, und hinterer derselben entsprechenden Wurzel; während beide vom Rückenmark abgetrennt waren (divisées?); während nur die vordere, und während nur die hintere es war. In allen diesen Fällen blieb sich das Ergebnifs gleich, dafs zu Anfang unter allen Umständen, d. h. bei Oeffnung und Schliefsung sowohl des absteigenden als des aufsteigenden Stromes, Zuckung entstand. Später ordneten sich die Erscheinungen, und zwar um so früher, wenn die Wurzel vom Rückenmarke getrennt war, und es trat folgendes Gesetz in Kraft: Zuckung erfolgte auf Schliefsung des aufsteigenden und Oeffnung des absteigenden Stromes. Die erstere Zuckung hält viel länger an als die letztere, gerade wie beim gewöhnlichen Versuch an gemischten Nerven die der Schliefsung des absteigenden Stromes entsprechende. Diese den Verfassern höchst unerwartete Erscheinung, da sie gerade das Gegentheil von dem gewöhnlichen Verhalten darbietet, ward viele Male am Pferde, dem Hunde, dem Kaninchen und dem Frosche wahrgenommen.

Sehr auffallend ist, dafs ihnen der Frosch, und zwar angeblich wegen der Kürze seiner Wurzeln, besondere Schwierigkeiten in den Weg gelegt hat. Wenn man nämlich, nach Enthauptung des Thieres und Eröffnung des Wirbelrohres von der Bauchseite her, die beiden Enden der Kette unmittelbar auf die durch Wachstaffentstreifen isolirten, noch mit dem Rückenmark in Verbindung stehenden Wurzeln anbringe, nehme ein Theil des Stromes seinen Weg gleichzeitig durch die unterhalb des Ganglions gelegene Strecke des gemischten Nerven, und dann sehe man den entgegengesetzten Erfolg von dem beschriebe-

[1] Und doch ist die Rede von einer Säule?

nen eintreten; man müsse vielmehr den einen Poldraht an die vorderen Rückenmarksstränge, den anderen an die Wurzel anlegen, um das Umgekehrte vom gewöhnlichen Gesetze zu beobachten. Man versteht hieran jedoch dreierlei nicht, erstens, wie die Nebenschliefsung durch den Knoten, den Stamm unterhalb desselben, unter dem Wachstaffentstreifen fort, u. s. w., weniger stattfinden könne, wenn man den einen Pol ans Rückenmark selbst, statt gleichfalls an die Wurzel anbringt, falls nicht. was nicht gesagt und schwer zu glauben ist, das Rückenmark ganz herauspräparirt und völlig von dem Schenkel isolirt war, wo aber dann auch jener Uebelstand überhaupt gar nicht hätte stattfinden können; zweitens, wie der Stromtheil, der durch den Stamm seitwärts ging, den Erfolg in den entgegengesetzten verwandeln konnte. Denn er hatte in dem Stamme die entgegengesetzte Richtung, und die Reizung am Stamme befolgt das entgegengesetzte Gesetz: folglich mufste sich Wirkung von der Wurzel und Wirkung vom Stamme aus, aller Voraussicht nach, einfach summiren. Endlich sieht man nicht, was diese Schwierigkeit mit der Kürze der Wurzeln zu schaffen habe, da sie auch bei der gröfsten Länge derselben in gleicher Weise wiederkehren müfste, mit dem Unterschiede freilich, dafs man alsdann das Verhältnifs der Widerstände der Hauptleitung und der Nebenschliefsung leichter zu Gunsten der Stromstärke in der ersteren, der Wurzel selber nämlich, würde beherrschen können.

Die Verfasser haben das umgekehrte Gesetz bei Hunden, Kaninchen, Fröschen und Ringelnattern (Col. natrix) auch für die vorderen Rückenmarksstränge bestätigt gefunden. Der folgende Hauptversuch ist am Hunde angestellt: »Après avoir coupé transversalement la moelle »au niveau de la douzième vertèbre dorsale, et incisé la dure-mère qui »revêtait son bout caudal, nous avons divisé et écarté toutes les ra»cines antérieures et postérieures au niveau de la longueur des fais»ceaux antérieurs sur laquelle nous nous proposions d'agir; et, les »ayant dépouillés de la pie-mère dans les points où devaient être ap»pliquées les extrémités des réophores, nous avons constaté que les »contractions survenaient (après quelques instants ou après l'extinction »de toute action réflexe) dans le train postérieur de l'animal .... »seulement au commencement du courant inverse, et à l'interruption »du courant direct, c'est-à-dire comme avec les racines antérieures. »Quant aux faisceaux latéraux, ils réagissent avec les courants direct »et inverse à la manière des antérieurs, en occasionnant toutefois »des secousses convulsives moins persistantes et moins énergiques.«

## 3.

## Schlufsbemerkungen.

(1) Ich selbst habe noch nicht Zeit gefunden, mich im Zusammenhange mit dem hier in Rede stehenden Gegenstande zu beschäftigen. Dieser Umstand, den ich beklage, hat mich gezwungen, die geschichtliche Darstellung, mit der ich mich begnügen mufste, vielleicht über die Gebühr auszudehnen, wobei ich aber zugleich, wie schon bemerkt, den Zweck im Auge hatte, die Verdrehungen derselben, welche sich die Italiänisch-Französischen Schriftsteller zu Schulden haben kommen lassen, durch unwiderlegliche und eindringliche Beweisstücke zu berichtigen.

In Ermangelung eigener umfassender Erfahrungen enthalte ich mich jedes Urtheils über die Richtigkeit des Nobili'schen, Marianini'schen, Matteucci'schen, vollends des Ritter'schen Gesetzes der Zuckungen. Ich kann jedoch nicht läugnen, dafs nach den Wahrnehmungen sowohl, die ich im Vorübergehen gemacht habe, als nach dem vorliegenden geschichtlichen Thatbestande, die Richtigkeit des Ritter'schen Gesetzes von der dritten Stufe der Erregbarkeit ab und des Nobili'schen Gesetzes, welches alsdann vollkommen mit demselben übereinstimmt, mir unzweifelhaft scheint.

Will man aber die Erscheinungen unabhängig von den Einzelheiten der Uebergänge, welche durch diese Gesetze ausgedrückt sind, fassen, so kommt man unstreitig auf Matteucci's Vorstellungsweise zurück und man hat sich alsdann nicht mit wenigen Zeugnissen zu begnügen, sondern, wie das Obige lehrt, eine lange Reihe gewichtiger Namen der Wissenschaft vereinigt sich, um es als eine unwidersprechliche Thatsache hinzustellen, dafs, bei einem gewissen geringeren Grade der Erregbarkeit, der Eintritt des absteigenden und der Austritt des aufsteigenden Stromes allein fähig sind, Zuckung hervorzubringen, während der Austritt des ersteren und der Eintritt des letzteren den Nerven anscheinend in Ruhe lassen. Auf höheren Stufen der Erregbarkeit hingegen büfst dies Gesetz seine Geltung ein. Hier zucken die Schenkel in allen vier Augenblicken in gleicher Weise.

Dies steht fest; nun fragt es sich, was es mit dem Vorkommen des verkehrten Gesetzes für eine Bewandtnifs habe. Ob, wie die Mehrzahl behauptet, dasselbe nur als eine Unregelmäfsigkeit zu betrachten sei, auf die man nichts geben müsse, oder ob, wie Ritter, allein stehend, will, dies Vorkommen auf dem seltenen Erhaschen der höchsten, dem unversehrten Leben am nächsten liegenden Stufe der Erreg-

barkeit beruhe. Dies ist die eigentliche wichtige Frage, die, seit vierzig Jahren schwebend, hier vor Allem zu beantworten ist, und man kann nicht lebhaft genug beklagen, dafs Mangel an Literaturkenntnifs so viele emsige Forscher, die seitdem ihre Aufmerksamkeit diesem Gegenstande zuwendeten, vornehmlich den trefflichen Nobili, verhindert hat, ihre Arbeiten von diesem Standpunkte aus zu beginnen, statt es immer und immer wieder auf die Bestätigung des gewöhnlichen Gesetzes, welches in Deutschland und Italien ja bereits im verflossenen Jahrhundert abgethan war, abzusehen.

Man erinnert sich der Erklärung, die Pfaff von diesen scheinbar anomalen Fällen gegeben hat; wir sind damals (S. oben S. 333) mit Verweisung auf eine spätere Stelle darüber hinweggegangen, indem ich die Kenntnifs der Thatsache noch nicht voraussetzen konnte, worauf sie sich gründet, nämlich der Veränderung der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten. Wir sind jetzt im Stande, sie zu würdigen. »Zwar »habe ich«, sagt Pfaff, »es im Allgemeinen bestätigt gefunden, dafs »auf den sehr hohen, jedoch nicht häufig vorkommenden Stufen der »Erregbarkeit die Vertheilung der Metalle an Nerven und Muskeln »gerade die entgegengesetzte Wirkung äufsert, wie auf den niedrigeren »Stufen; dafs nämlich bei der negativen Bewaffnung des Nerven mit »der Schliefsung der Kette, bei der positiven Bewaffnung desselben »dagegen mit der Trennung der Kette die lebhafteren Zuckungen oder »wohl gar ausschliefslich eintreten, während auf dem gewöhnlichen »Stande der Erregbarkeit bei der ersten Art der Vertheilung vielmehr »die Oeffnung der Kette allein oder doch die lebhafteren Zusammen»ziehungen giebt; doch schien mir dieses verschiedene Verhalten nicht »allein von den verschiedenen Zuständen der Erregbarkeit, sondern »auch von der Folge und Dauer, in welcher der galvanische Reiz »selbst angewandt wird, abzuhängen, und zwar nach dem Gesetze, »dafs wenn ein bestimmter Reiz eine Zeit lang auf Muskeln eingewirkt »hatte, dadurch die Erregbarkeit für diesen Reiz abgestumpft, und für »den entgegengesetzten erhöht wurde. Nennen wir bei der Bewaffnung »des Nerven mit dem negativen Metalle, der Muskeln mit dem posi»tiven Metalle, den Reiz, welcher mit der Schliefsung einer Kette ein»tritt, den negativen, und denjenigen, welcher mit der Oeffnung der »Kette eintritt, den positiven, so wird zwar auf der ersten Stufe der »Reizbarkeit im ersten Augenblicke nur jener Zuckungen hervorbrin»gen, dieser nicht; bleibt aber die Kette, bei negativer Bewaffnung »des Nerven, nur eine kurze Zeit geschlossen, so werden unfehlbar »die heftigsten Zuckungen im Augenblicke der Trennung eintreten, »d. h. der positive Reiz wird sich nun auch sehr wirksam beweisen.«

Pfaff glaubt demnach an die Fälle des umgekehrten Gesetzes nicht einmal als selbständige Ausnahmen, wie er und Ritter zu Anfang, Erman, Nobili u. A. etwa thaten; sondern er hält sie für Kunstproducte, die man möglicherweise sogar leicht willkürlich hervorbringen könne. Die Erklärung, die er davon giebt, ist dieselbe, die, wie wir sahen, Nobili von der stärkeren Trennungszuckung bei gröfseren Stromstärken gab (S. oben S. 338). Allein was wird daraus, wenn, wie Ritter und Pfaff selber berichten, überhaupt gar keine Schliefsungszuckung, trotz des Zustandes der höchsten Erregbarkeit, bei positiver Bewaffnung des Nerven und absteigendem Strome, hingegen jetzt eine Oeffnungszuckung, möglicherweise ohne den Kunstgriff des Längergeschlossenhaltens der Kette stattfindet, die dagegen später, bei derselben Vertheilung der Metalle, ausbleibt? Wir haben uns oben allerdings häufig gegen Ritter's Ueberschwenglichkeiten zu verwahren gehabt, ihn fast unbegreiflicher Verblendung in gewissen Punkten anklagen müssen, aber können wir ihn, den Entdecker der Veränderungen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten, der Schwachheit bezüchtigen, dafs er sich jetzt dadurch habe in die Irre führen lassen? Vollends mit Hinblick auf die neueren Ergebnisse von Matteucci und Longet an vorderen Wurzeln, wo gleichfalls ein Maximum von Erregbarkeit obwaltet, scheint es mir unmöglich, Zustände der Nerven in Abrede zu stellen, wo das umgekehrte Gesetz, statt des gewöhnlichen, Geltung hat.

Leider aber sind diese Ergebnisse, über deren Seltsamkeit ihre Urheber minder erstaunt sein würden, wenn sie entweder in der Geschichte der Reizversuche bewanderter gewesen wären, oder mit unbefangenem Blicke zahlreiche eigene Beobachtungen auch an gemischten Nerven gesammelt hätten, bei weitem nicht geeignet, jene Frage zu entscheiden, der wir also nicht, mit Pfaff, ihre Wirklichkeit absprechen zu dürfen glauben. Denn um mit Ritter's Erfahrungen übereinzustimmen, hätten Matteucci's und Longet's Versuche den umgekehrten Erfolg der Zeit nach zeigen müssen, d. h. gleich Anfangs hätte nur die Oeffnungszuckung des absteigenden Stromes, und die Schliefsungszuckung des aufsteigenden erscheinen sollen, später erst Zuckung in allen vier Augenblicken. Durch diese Versuche werden somit zwei irrige Angaben Ritter's berichtigt, erstens, dafs das umgekehrte Gesetz niemals bei warmblütigen Thieren vorkomme, fürs zweite, dafs die Aufeinanderfolge der Erscheinungen niemals den umgekehrten Gang von dem nehme, der in seiner Tabelle angezeigt ist (S. oben S. 320).

Die subjectiven Erfahrungen lassen uns hier gleichfalls im Stich. Wir wissen zwar durch zahlreiche Zeugnisse, dafs der Schlag auf der negativen Seite empfindlicher ist als der auf der positiven, wir wissen

aber genau genommen nur, dafs dies für die Empfindung gilt, nicht, ob es in gleichem Mafse für die Bewegung gelte, welche bisher in den subjectiven Versuchen von jener nicht hinlänglich geschieden wurde.

Wie die Sachen stehen, halte ich es am gerathensten, sich folgendermafsen auszusprechen: »Es giebt Fälle, wo das umgekehrte Ge»setz von dem gewöhnlichen Geltung hat. Oft sind diese Fälle mit »aufserordentlich hoher Erregbarkeit verbunden; es läfst sich aber zu»nächst darum noch nicht mit Sicherheit behaupten, dafs sie Normal»fälle seien, welche den dem unversehrten Leben am nächsten stehenden »Zustand der Nerven offenbaren, sondern mehrere Umstände deuten »darauf, dafs dabei besondere Verhältnisse der Ernährung und Lebens»weise (Ritter, Nobili), oder der nachfolgenden Behandlung nach dem »Tode (Versuche an Wurzeln und Rückenmarkssträngen überhaupt) »vorhanden und mit im Spiele waren. Nichtsdestoweniger ist beob»achtet worden, dafs Fälle dieser Art sich mit abnehmender Erregbar»keit in solche verkehrten, wo das gewöhnliche Gesetz stattfand »(Ritter); es ist daher, bis auf Weiteres, ein Auge darauf zu haben, »ob nicht doch dieser scheinbar abnorme Zustand, wie Ritter be»hauptete, der normale dem Leben am nächsten stehende sei.«

Eine nicht geringere Unsicherheit herrscht in den objectiven Versuchen von Marianini, Becquerel und Matteucci über das Verhalten der Gefühlsnerven gegen den elektrischen Strom. Nimmt man, Sternberg's entschiedener Verneinung, Pfaff's zweifelhaftem Ergebnisse und Nobili's Bedenken gegenüber, die Behauptungen jener Forscher aber als erwiesen an, so würde es so gut als gewifs sein, dafs die Verhältnisse der Gefühlsnerven unter den Umständen furchtbarer Mifshandlung, wie sie bei jenen Versuchen vorkommt, sich in die entgegengesetzten von denen verwandeln, welche sie während des Lebens sind, denn hier wissen wir aus subjectiven Versuchen bestimmt, dafs der stärkere und empfindlichere Reiz, abgesehen von dem Muskelschmerze der Zuckungen, dessen vorzugsweiser Ort am lebenden Körper auch noch im Dunkel liegt, durch den absteigenden Strom hervorgebracht wird. Was Gesicht und Geschmack betrifft, um Gehör und Geruch vorläufig noch aus dem Spiele zu lassen, so antworten ihre Nerven, wie wir oben sahen, vielmehr vorzugsweise auf den aufsteigenden Strom.

(2) Ueber die Wichtigkeit der Fragen, die in dem Laufe dieses und des vorigen Paragraphen als schwebend bezeichnet wurden, brauche ich wohl kein Wort mehr zu verlieren. Es handelt sich dabei in der That um nichts Geringeres, als um die Gewinnung der wesentlichsten Handhabe zur Grundlegung einer allgemeinen Mechanik des

sogenannten Nervenprincipes, zu deren Erforschung uns in dem elektrischen Strome ein ähnliches Hülfsmittel geboten ist, wie in dem polarisirten Lichte zur Ermittelung der inneren Spannungszustände krystallisirter Körper. Die Einsicht in jene Statik und Dynamik, zu der wir auf dem Wege des bloſsen Stechens und Schneidens, des Aetzens, Brennens und Unterbindens gelangen konnten, verhält sich zu der, die uns der elektrische Strom zu gewähren vermag, etwa wie die Kenntniſs von dem Wesen des Krystalles, die sich aus dem Bloſslegen seiner Spaltungsdurchgänge ergiebt, zu dem Abgrunde der feinsten Beziehungen, die uns das unendlich zarte Tasten mittelst schwingender Aethertheilchen enthüllt.

An dieser Stelle die Folgerungen zu entwickeln, die, den angeführten Thatsachen entlehnt, zu solchen Hoffnungen und Aussichten berechtigen, würde beides, zu früh und auch zu spät sein; zu spät nunmehr, wenn dieselben sich allein auf das bereits seit so langer Zeit Bekannte berufen sollten, in einem Augenblicke, wo, wie die Folge lehren wird, eine vielleicht nicht unwesentliche Bereicherung unseres Wissens in diesem Punkte bevorsteht; zu zeitig noch, ehe wir uns mit diesen neuen Hülfsmitteln ausgerüstet haben. Wir verlegen diese Erörterungen daher lieber an eine spätere Stelle dieses Werkes, in den vierten Abschnitt nämlich, welcher seinen Schluſs bilden wird, indem wir uns vor der Hand noch an der Aufnahme des Thatbestandes genug sein lassen. Unterlassen kann ich aber nicht, und dies ist der Grund, weshalb ich der Wichtigkeit desselben hier mit einigen Worten habe gedenken wollen, die dringendste Aufforderung an die Physiker und Physiologen zu richten, dieses Gebiet von Untersuchungen endlich einmal mit der Energie Ritter's und der Methode Nobili's wieder aufzunehmen und zu einem gar nicht so weit liegenden sicheren und klaren Ziele zu führen. »Das Chaotische und Anomale der Reizversuche« ist, wie man aus dem Vorigen hat ersehen können, heutzutage durchaus nur noch scheinbar, die Fragen sind auf diesem Felde so deutlich und einfach gestellt, wie auf wenig anderen der organischen Physik; und es ist daher wahrlich Zeit, daſs der historische Widerwille, der gegen diese Gattung von Versuchen gehegt wird, dem Interesse weiche, welches sie in so hohem Grade in Anspruch zu nehmen verdienen.

Wenn ich nicht irre, so ist durch die hier gegebene Darstellung und somit Bezeichnung des eigentlich zu Leistenden auf diesem Gebiete eine der gröſsten Schwierigkeiten hinweggeräumt, die sich seiner ferneren Bearbeitung nur zu leicht hemmend entgegensetzte: die vorläufige Besiegung nämlich einer höchst ausgedehnten, verwickelten, zum Theil schon weit entlegenen Literatur, welche an den meisten Orten,

sei's durch dürre Casuistik, sei's durch theoretische Traumgespinnste, deren einst vielleicht reizende Farben längst verblichen, ungenieſsbar wie fast keine andere gemacht ist.

Ein Theil der hier anzustellenden Versuche, derjenige, der sich auf das Gesetz der Zuckungen bezieht, hat zum Ersatz für mannigfache daran sich knüpfende Beschwerden, wenigstens den Vorzug, den bereits v. Humboldt ihnen nachrühmte, zu jeder Zeit, an jedem Ort, ohne Beihülfe zarter und kostspieliger Vorrichtungen, gleichsam, was v. Humboldt wörtlich wahr machte (S. oben S. 76), aus dem Stegreif angestellt werden zu können. Man begebe sich daher im Vorfrühling und Herbst an das Ufer der Teiche und Gewässer selbst, um die Thiere in unmittelbarster Frische zu untersuchen: auf diese Weise mufs sich die Ritter'sche Streitfrage erledigen lassen. Das Kennzeichen der gröfstmöglichen Erregbarkeit hat man stets in der Galvani'schen Zuckung ohne Metalle zur Hand.

Dabei habe es aber sein Bewenden nicht. Diese Versuche müssen, wie Longet und Matteucci es begonnen haben, aber mit einer umfassenderen Einsicht in ihre mannigfachen Beziehungen, auf die Nervenwurzeln ausgedehnt werden; auch die Rückenmarksstränge mögen nicht leer ausgehen. Endlich ist es unumgänglich nöthig, dafs auch den subjectiven Erfahrungen einmal wieder fortgesetzt Gehör geliehen werde, da Ritter's Leistungen darin, trotz seiner unbedingten persönlichen Hingabe, doch durch den Mangel an physiologischer Kenntnifs einmal, wie ihn seine Zeit mit sich brachte, dann aber durch seine unglückselige philosophische Richtung, fast auf allen Punkten verdächtigt, ja entwerthet sind.

Wer jedoch hier das Beste davontragen will, richte seinen Blick auf die genaue thatsächliche Bewährung der im zweiten Paragraphen dargelegten Grundsätze. Freilich handelt es sich dabei nicht mehr um Versuche, die von heute auf morgen zu entwerfen und auszuführen sind; sondern möglicherweise um jahrelanges Befreunden mit tausend noch unvorhergesehenen Schwierigkeiten, um zahllose vergebliche Anfänge und manche peinliche Täuschung. Dafür zögere ich aber nicht, es unumwunden auszusprechen: Wer es dahin bringen wird, ein Mafs der Muskelzusammenziehung und eine geradlinige Schwankung der Curve der Stromstärken herzustellen, dem wird eine reiche Erndte der schönsten Entdeckungen offen stehen, welche, im Verein mit den später mitzutheilenden Thatsachen, erst den Weg zu einer wahrhaft wissenschaftlichen Behandlung der Lehre von den Nervenwirkungen anbahnen werden.

(3) Jetzt wenden wir uns zu der ursprünglichen Absicht zurück,

welche uns zum Anlafs unserer langen Abschweifung hat dienen müssen. Der Leser ist nachgerade in Stand gesetzt, selber zu urtheilen, welcher Grad von Zuverlässigkeit Bestimmungen der Strömungsrichtung durch den stromprüfenden Schenkel zusteht. Wir haben gesehen, dafs Ritter im Stande war, mit Hülfe desselben die galvanische Spannungsreihe so wohl zu ordnen als mit dem Condensator; aber wir haben zugleich erfahren, dafs Matteucci und einige wenige andere ausgenommen, sämmtliche Physiker, die sich mit diesem Gegenstande beschäftigten, über die zahlreichen störenden Ausnahmen Klage führen, die so häufig das Gesetz und die darauf gegründeten Wahrnehmungen trüben kommen. Am bedenklichsten mufs jedoch erscheinen, dafs gerade diejenigen Frösche, welche den höchsten möglichen Grad von Erregbarkeit besitzen, nach Ritter und Pfaff das umgekehrte Gesetz zu zeigen geneigt sind, während doch gerade sie allein es sind, deren man sich bei den so äufserst schwachen thierisch-elektrischen Ketten mit Erfolg bedienen kann. Und in der That sehen wir, dafs der Frosch, nach Nobili, auf seinen eigenen aufsteigenden Strom mit Schliefsungszuckung, äufserst selten auch mit Oeffnungszuckung, antwortet. Eine Unregelmäfsigkeit, welche, gleichviel wie man sie deuten wolle, nach Matteucci's in dieser Hinsicht so zuversichtlicher Weise z. B. zu einer falschen Bestimmung der Richtung des Froschstromes geführt haben würde. Auch verdient bemerkt zu werden, dafs Nobili, der stets ein wachsames Auge auf jeden praktischen Vortheil hatte, der sich ihm bei seinen Arbeiten in irgend welcher Hinsicht darbot, diese Anwendung des Frosches zur Erkennung der Strömungsrichtungen ganz unerwähnt läfst.

Keinesweges gedenken wir indefs, wie auch schon mehrmals bevorwortet wurde, auf die Vortheile zu verzichten, die uns dieses stromprüfende Mittel gewähren kann. Nur dafs wir da seine Vorzüge suchen, wo es wirklich dergleichen vor anderen Rheoskopen besitzt, ja sich unersetzlich zeigt. Zu der Auseinandersetzung dieses Punktes schreiten wir jetzt.

---

## §. IV.

## Von der wesentlichen Eigenthümlichkeit des physiologischen Rheoskopes.

Bei mehreren, und zwar gerade den wichtigsten thierisch-elektrischen Versuchen handelt es sich darum, eine aufserordentlich schnelle,

mehr oder weniger grofse Schwankung der Stromstärke bemerklich zu machen. Die Beweglichkeit einer Magnetnadel reicht zu diesem Behufe nicht mehr aus.

Wenn ein Strom in den Multiplicatorkreis einbricht, und mit beständiger Kraft eine solche Zeit hindurch in demselben verweilt, dafs sie der Schwingungsdauer der Nadel unter den vereinigten Einflüssen des Stromes und der Erdkraft gleich ist, oder dieselbe übersteigt, so durchläuft die Nadel ausschlagsweise einen Bogen, dessen Gröfse durch die Stärke des Stromes, die Beschaffenheit der Nadel, u. s. w. bestimmt wird. Dauert der Strom bei gleicher Stärke kürzere Zeit, so nimmt der Ausschlagswinkel an Gröfse ab. Dabei wird jedoch, der Einfachheit halber, vorausgesetzt, dafs sich der Ausschlag nicht über 90° hinaus erstrecke; sonst würde derselbe dann am gröfsten sein, wenn der Strom gerade zur Zeit aufhörte, wo die Nadel über den 90°-Punkt fortgeht, indem darüber hinaus die Stromeskräfte sich mit den Erdkräften summiren, um die Nadel nach diesem Punkte zurückzuziehen. So wie also die Dauer des Stromes unter die bezeichnete Grenze gesunken ist, wird die Gröfse des Ausschlages abhängig davon, und zwar kann jene endlich so klein werden, dafs gar keine merkbare Wirkung mehr ausgeübt wird; ein Umstand, der begreiflich um so früher eintritt, je schwächer der schnell vorübergehende Strom ist. So kann man aus freier Hand schwache Magnetstäbe schnell genug an einer empfindlichen Doppelnadel vorüberführen, ohne dafs sie in Schwingungen geriethe, die sich bei stärkeren Stäben dagegen stets nachträglich einstellen.

Denkt man sich aufser der Dauer der Ströme, auch noch die Stärke derselben veränderlich, dergestalt, dafs es stets dieselbe Elektricitätsmenge ist, die in einer immer kleiner werdenden Zeit abgeglichen wird, so ist, nach einer Bemerkung von Gauss, [1] die Anregung zur Bewegung, die eine gegen die Windungen unveränderlich gerichtete Nadel unter diesen Umständen empfängt, von der Dauer unabhängig und wie die Elektricitätsmenge constant. Bei freier Beweglichkeit der Nadel fängt dieses dann verwirklicht zu werden an, wenn die Dauer des Stromes gegen die des Ausschlages der Nadel oder ihre Schwingungsdauer verschwindend geworden ist; [2] bis dahin ist die Gröfse des Ausschlages eine sehr verwickelte Function der abnehmenden Dauer des Stromes, da derselbe um so gröfser werden mufs, je näher dem Nullpunkte

[1] Schumacher's Jahrbuch für 1836. S. 42.

[2] Vergl. Wilhelm Weber's Elektrodynamische Mafsbestimmungen. In: Abhandlungen bei Begründung der Königl. Sächs. Gesellschaftder Wissenschaften u. s. w. Leipzig 1846. 4°. S. 291.

die Nadel von derselben Summe von Kräften getroffen wird, dagegen um so kleiner, eine je geringere Zeit dieselbe Summe auf sie einwirkt.

Schliefslich übrigens tritt, selbst bei beständiger Gröfse dieser Summe, wenn die Zeit, in der die Abgleichung geschieht, abzunehmen fortfährt, dennoch eine Grenze ein, wo keine Wirkung mehr auf die Nadel ausgeübt wird. Derselbe Schlag der Kleist'schen Flasche, der, durch einen unvollkommenen Leiter, ein Elfenbeinstäbchen, eine Flüssigkeitsschicht oder eine Luftschicht zwischen metallischen Spitzen die Nadel abzulenken vermag, läfst sie, bei unverzögerter Geschwindigkeit, unbewegt. So wird hier an der Grenze jene für die Inductionsströme durch Bewegung stimmende Bemerkung unrichtig, von der man glauben sollte, dafs sie ohne Unterschied auf alle solche Ströme passen müfste, deren Stärke mit der Abnahme ihrer Dauer wächst, und es zeigt sich einer jener merkwürdigen Fälle, welche zu lehren scheinen, dafs zur Mittheilung von Bewegung in der That eine bestimmte, wenn auch noch so kleine Zeit nothwendig sei.

Offenbar gilt, was hier von erst entstehenden Strömen gesagt wurde, in eben dem Mafse von blofsen Schwankungen bereits vorhandener, gleichviel in welchem Sinne dieselben stattfinden. Daher kommt es, dafs die oben erwähnten Veränderungen der thierisch-elektrischen Ströme, obschon sie möglicherweise das Doppelte ihrer beständigen Gröfse betragen, bei der Schwäche dieser Ströme, und vermöge ihrer eigenen grofsen Geschwindigkeit, am Multiplicator ohne weitere Kunstgriffe durchaus unwahrnehmbar sind. Sehen wir zu, auf welche Weise wir uns hier zu helfen haben.

Pouillet, welcher auf die bestimmte Beziehung zwischen der Gröfse des Ausschlages einer Multiplicatornadel und der Dauer eines Stromes von beständiger Kraft, wenn sich Dauer und Kraft innerhalb der oben bezeichneten Grenzen halten, ein Verfahren gegründet hat, sehr kurze Zeiträume zu messen, vergleicht den Hergang bei dieser Art der Ablenkung demjenigen am ballistischen Pendel.[1] Die Nadel ist das Pendel, das Moment des Geschosses wird durch das der elektrodynamischen Kräfte vorgestellt. Das letztere überträgt sich auf die Nadel, da aber das Trägheitsmoment derselben aufserordentlich grofs ist im Verhältnifs zu dem bei der elektrodynamischen Bewegung unmittelbar betheiligt gedachten Massen, so verwandelt sich deren grofse Geschwindigkeit in eine sehr geringe von Seiten der Nadel, welche sogar unmerklich werden kann, wenn dieselbe nur von einem einzelnen,

[1] Comptes rendus etc. 23 Décembre 1844. t. XIX. p. 1384.

oder auch, unterhalb einer gewissen Grenze, mehrfach wiederholten Stofse jener Massen betroffen worden ist.

Aus diesem Gleichnifs ergeben sich zwei Wege, um solche augenblicklichen Stöfse dennoch wahrnehmbar zu machen. Entweder nämlich kann man, wenn es die Umstände erlauben, den Stofs sich so vielmal hintereinander wiederholen lassen, bis der gewünschte Erfolg an der Nadel sichtbar geworden ist, oder es mufs das Trägheitsmoment der Nadel verkleinert werden, damit ein einzelner Stofs derselben eine gröfsere Geschwindigkeit ertheilen könne.

Es wird sich zeigen, dafs wir in Betreff der in Rede stehenden Schwankungen der thierisch-elektrischen Ströme allerdings im Stande sind, das erstgenannte Verfahren in Ausführung zu bringen.[1] Allein dasselbe ist offenbar untauglich, so wie es sich, wie der Fall wirklich eintritt, darum handelt, die einzelnen Stöfse zu unterscheiden, anstatt blofs die Summe der Wirkungen vieler wahrzunehmen, und hier ist es nun, wo uns das physiologische Rheoskop in der That zu statten kommt.

Für dieses giebt es nämlich glücklicherweise keine bekannte Grenze der Geschwindigkeit, welche nicht überschritten werden dürfte, ohne dafs Wirkungen zu erfolgen aufhören. Man könnte zwar glauben, dafs diese Eigenschaft für dasselbe nur illusorisch sei, und auf dem Umstande beruhe, dafs, damit Zuckung und Empfindung stattfinden, nothwendig ein thierischer Theil in den Kreis eingeschaltet sein müsse, wodurch also stets bereits eine beträchtliche Verzögerung des Stromes bedingt werde. Wirklich ist diese Verzögerung in Wasser z. B. so bedeutend, dafs nach Wilhelm Weber die Elektricität ungefähr $^1/_{12}$″ brauchen würde, um eine damit getränkte hanfene Schnur von 7$^{mm}$ Dicke und 2$^{m}$ Länge zu durchlaufen.[2]

Allerdings läfst sich hiernach auch nicht mehr behaupten, dafs der unverzögerte Schlag der Kleist'schen Flasche Zeit finden würde, die Nerven zu erregen. Demungeachtet unterliegt es keinem Zweifel, dafs, auch wenn Multiplicator, und Frosch oder menschlicher Körper, gleichzeitig in einen und denselben Kreis eingeschaltet sind, die letzteren augenblickliche Schwankungen der Stromstärke anzuzeigen vermögen, von denen der erstere nichts verspürt. Dies ist, unter gewissen Umständen, der Fall für den Schlag der Kleist'schen Flasche, seiner Nebenströme nicht zu gedenken, bei denen man eine doppelsinnige

[1] S. unten, 3. Abschn., Kap. IV. §. iv.

[2] Abhandlungen bei Begründung der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften u. s. w. S. 296.

Wirkung, erst in der einen, dann in der andern Richtung vermuthen könnte, deren Ergebnifs Gleichgewicht wäre. So kann man die Kette sehr schnell öffnen und wiederschliefsen, ohne dafs eine langsam schwingende Nadel eine merkliche Bewegung erlitte, während das physiologische Rheoskop auf das heftigste ergriffen wird. Wird ein Strom, vermittelst eines Blitzrades, fortwährend unterbrochen, so entsteht, wie wir zum Theil schon wissen, Tetanus der eingeschalteten thierischen Glieder; die Nadel einer Sinusbussole hingegen hält sich, bei hinreichender Geschwindigkeit des Rades, wie POUILLET es durch die Rechnung und den Versuch dargethan hat, unbeweglich auf dem Winkel, dessen Sinus $\frac{1}{n}$ des Sinus des Winkels ist, auf dem sie der stetig wirkende Strom halten würde, wenn die Dauer des Stromes sich zur Dauer des Stromes plus der Unterbrechung wie $1 : n$ verhält: [1] beiläufig ein neuer Beleg zu den bereits oben S. 260 angestellten Betrachtungen über die Unabhängigkeit der physiologischen Wirkung von der Elektricitätsmenge, die hier durch den Sinus der Ablenkung gemessen wird. So lassen jene Schwankungen der thierisch-elektrischen Ströme, auf welche sich diese ganze Erörterung bezieht, den Stand der Nadel unverändert, während der stromprüfende Schenkel lebhaft antwortet, und obschon ihre Gröfse der Stärke eines Stromes gewifs nur um wenig nachsteht, der die Nadel an die Hemmung zu werfen vermag, wenn sie dieselbe nicht gar übertrifft.

Nirgends aber zeigt sich die verschiedene Art der Reaction des physiologischen und des elektromagnetischen Rheoskopes, die Trägheit dieses, und die Geschwindigkeit, wodurch jenes befähigt ist, den Vorgang jedes einzelnen Augenblickes aufzufassen und für sich zu empfinden, schöner und lehrreicher zusammengestellt, als in DOVE's merkwürdigen Versuchen »über magnetoëlektrische Ströme, welche, wenn sie »am Galvanometer im Gleichgewicht sind, den menschlichen Körper »heftig erschüttern, hingegen, wenn sie ihre physiologische Wirkung »gegenseitig neutralisiren, die Magnetnadel in starke Bewegung ver»setzen.« [2]

Man denke sich zwei doppelte Inductionsrollen, die beiden inneren Spiralen führen den Strom einer galvanischen Kette; die beiden äufseren sind mit dem Multiplicator und dem Körper so zu einem Kreise

[1] S. unten, 3. Abschn., Kap. IV. §. 11.

[2] Bericht über die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen der Königl. Preufs. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. October 1839. S. 163. * — POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1840. Bd. XLIX. S. 72. * — Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität u. s. w. S. 18. * und Fig. 4. der Tafel, welcher die Fig. 17. Taf. I. im Wesentlichen entlehnt ist.

verbunden, dafs ihre Ströme beim Schliefsen und Oeffnen der Kette einander vollkommen aufheben. Bringt man in die eine Rolle einen massiven Eisenkern, so ist das Gleichgewicht gestört, man erhält einen Schlag und die Nadel wird im Sinne des von jener Rolle ausgehenden Inductionsstromes abgelenkt. Bringt man in die andere Rolle einen vollkommen gleichen Eisenkern, so ist das Gleichgewicht für beide Prüfungsmittel wieder hergestellt; legt man aber Drähte hinein, bis die Multiplicatornadel in Ruhe bleibt, so erhält man nichtsdestoweniger noch immer die heftigsten Schläge.

Auf folgende Weise ist dies denkbar. Wenn der Multiplicator schweigt, sind die Elektricitätsmengen, die in beiden Rollen in entgegengesetzter Richtung in Bewegung gesetzt werden, einander gleich, oder, wenn man die Abgleichungsvorgänge beider in gewohnter Weise durch Curven, *abc*, *dbe* Fig. 17. vorstellt, die von den Curven begrenzten Flächenräume sind gleich. Deshalb brauchen jedoch, wie man nach dem Obigen leicht sieht, noch nicht die Zeiten, in denen die Abgleichung vor sich geht, und die Gestalten der Curven gleich zu sein; sondern die Curven schneiden sich z. B. an einem Punkte *b*; ein Theil ihrer Flächenräume, *Odbc* ist also beiden gemeinschaftlich; aufserdem aber kommt der steileren noch ein Stück *adb* über der flacheren und dieser ein an Oberfläche gleiches, aber an Wirkung entgegengesetztes *bce* jenseits der Abdachung der steileren zu. Durch das erste Stück erhält nun die Nadel einen Stofs im Sinne der steileren Curve, allein ehe sie sich merklich vom Nullpunkt entfernt hat, trifft sie bereits ein entgegengesetzter Stofs von gleicher Stärke, der flachen Curve angehörig, und so kommt es, dafs man sie in Ruhe bleiben sieht. Bei näherer Betrachtung indefs unterscheidet man in der That, dafs sie erst im Sinne des Drahtbündels eine kleine, kurze, schnelle Ablenkung, gleichsam eine Zuckung erfährt, in der sie aber alsbald, augenscheinlich durch die Wirkung des Cylinders, gehemmt wird, um nun bei weitem langsamer einen entsprechenden Rückschwung im Sinne desselben zu beginnen. Dadurch erkennt man zugleich, dafs die Drahtbündelcurve die steiler, die Cylindercurve die flacher gewölbte sei, ganz in Uebereinstimmung mit unseren Grundsätzen und der Erfahrung, dafs Drahtbündel in Inductionsvorrichtungen empfindlicher schlagen als massive Eisenkerne.

Ganz anders ergeht es nun dem gleichzeitig eingeschalteten menschlichen Körper. Diesem ist es höchst gleichgültig, ob die Flächenräume der beiden einander nicht deckenden Stücke der Curveninhalte von entgegengesetztem Zeichen gleich sind, oder nicht. Auf algebraïsches Summiren beliebiger in der Zeit auseinandergelegener Glieder kann er sich

nicht einlassen, denn er ist verurtheilt, jedes einzelne derselben, in dem Augenblicke seines auch noch so flüchtigen Daseins, der Reihe nach mehr oder weniger schmerzlich, und ohne alle Möglichkeit der Compensation durchzuempfinden (S. oben S. 288). Da es sich hier um subjective Prüfung handelt, so fallen zweierlei Dinge ins Gewicht; wegen des ersten Gliedes der rechten Seite der Formel (IV) ebendaselbst nämlich erstens die Steilheit aller einzelnen Bogenelemente der Curven, die man erhält, wenn man, wie es in der Figur in $\alpha\beta$ und $\beta\gamma e$ unterwärts von der Abscissenaxe geschehen ist, die Unterschiede der Ordinaten der Drahtbündel- und der Cylindercurve abermals auf die Zeit als Abscisse aufträgt; wegen des zweiten Gliedes jener Formel sodann aber auch die absolute Höhe der solchergestalt entsprungenen Ordinaten selbst. Ein Blick auf die Figur lehrt sogleich die Nothwendigkeit erkennen, dafs bei gleichen Flächenräumen beider Curven der Körper eine lebhafte Erschütterung erhalte; es ist deutlich, und der Versuch beweist es, dafs sie von dem Drahtbündel ausgeht, denn Herausziehen des Cylinders verstärkt sie, durch Herausziehen des Drahtbündels, oder Herausnehmen von Drähten wird sie geschwächt.

Werden mehr und mehr Drähte aus der entsprechenden Rolle entfernt, so kommt ein Punkt, wo gar nichts mehr empfunden wird; das Drahtbündel und der Cylinder halten sich scheinbar am menschlichen Körper das Gleichgewicht, die Multiplicatornadel hingegen wird nun auf das gewaltsamste im Sinne des Cylinders abgelenkt. Fährt man mit Herausnehmen von Drähten fort, so kehren, während die galvanometrische Wirkung immer heftiger wird, endlich auch die Schläge zurück; aber sie gehen jetzt vom Cylinder aus. Dies erklärt sich folgendermafsen. Die Dauer des Drahtbündelstromes, ausgedrückt durch die Abscisse $0c$, ist Function des Durchmessers der einzelnen Drähte, und höchst wahrscheinlich von ihrer Anzahl unabhängig. Die letztere bestimmt dagegen die absolute Höhe der Ordinaten der Drahtbündelcurve, und bei beständiger Abscisse, folglich auch die Summe ihrer Steilheiten, und ihren Flächenraum. Nach Entfernung einer gewissen Anzahl von Drähten mag die Curve also wie $a'c$ in der Figur aussehen; die entsprechende Differenzencurve findet sich in $a'\gamma e$ aufgetragen. Man sieht, dafs dieselbe, für eine Reihe von Werthen der Anzahl der Drähte, leicht eine hinreichend kleine absolute Höhe ihrer Ordinaten und Summe ihrer Steilheiten besitzen kann, um keine fühlbare Wirkung zu erzeugen, während die Nadel im Sinne des Cylinders abgelenkt werden mufs, dem jetzt der ganze Flächenraum der Differenzencurve allein angehört. Werden immer mehr Drähte entzogen, so schwillt dieser Flächenraum, der hier durch ein Minimum ging, wieder

an, wegen der beständigen Abscisse kehren daher endlich die Schläge, vom Cylinder ausgehend, zurück, vollends die Wirkung auf die Nadel kann nur im Wachsen begriffen sein.

Das physiologische Gleichgewicht aber ist bei dieser Anordnung offenbar nur ein scheinbares; ein entweder durch die geringe Empfindlichkeit des stromprüfenden Mittels, oder die geringe Stärke der unvollkommen einander aufhebenden Wirkungen, wodurch, bei beständigem Verhältnisse derselben, ihr Unterschied verkleinert wird, erschlichenes. Es ist kein Zweifel, dafs, unter den Umständen, wo hier der eingeschaltete menschliche Körper gar nichts erfährt, ein stromprüfender Froschschenkel auf das heftigste zucken würde; und Dove fügt denn auch hinzu: »Für das Gefühl ist die Bestimmung der wahren Anzahl »der Drähte, welche einem Cylinder das Gleichgewicht halten, .... »schwierig. Bei jeder Stärke der Kette bleibt sie kleiner als die »zur Compensation am Galvanometer erforderliche, wo man aber bei »schwächeren Strömen den Ueberschufs des einen über den andern »nicht mehr als Schlag empfindet, ist dies bei stärkeren der Fall.« In der That braucht auch nur, wie man leicht gewahr wird, die abgeglichene Elektricitätsmenge in rascherem Mafse zu wachsen, als die Zeit des Abgleichungsvorganges, damit nicht nur die absolute Gröfse der Ordinaten, sondern gleichzeitig die allgemeine Steilheit der Differenzencurve zunehme; immerhin bis zu dem Punkte, wo das scheinbare Gleichgewicht aufhört, ein solches am menschlichen Körper noch ferner vorzustellen (A. a. O. S. 23*).

Etwas ähnliches findet übrigens für die Magnetnadel, bei Herstellung des galvanometrischen Gleichgewichtes statt, indem bei sehr starken Strömen der Flächenraum des ersten Stückes der Differenzencurve so bedeutend werden kann, dafs die nachmalige Wirkung des Cylinders die Nadel bereits in einer zu ungünstigen Stellung gegen die Windungen antrifft, um ihrem Ausschlage noch mit Erfolg Einhalt thun zu können (A. a. O. S. 21*).

Kommt demnach ein Theil der Empfindlichkeit, die das physiologische Rheoskop anscheinend für beliebig schnelle Ströme zeigt, möglicherweise auf Rechnung der Verzögerung, die seine Gegenwart im Kreise an und für sich mit sich bringt, so scheint es auf der andern Seite doch nicht minder richtig, ihm abgesehen hievon eine gröfsere Beweglichkeit als der Multiplicatornadel zuzuschreiben. Hierin liegt denn auch der Sinn der Beschränkung, mit der es oben S. 168 ausgesprochen wurde, dafs der Multiplicator, nächstdem aber der Froschschenkel, das empfindlichste der stromprüfenden Mittel sei; es wurde nämlich hinzugefügt, »für Galvanismus und die ihm verwandten Bewegungsformen der Elek-

»tricität«, über welche die Tabelle am Schlusse von Dove's *Untersuchungen* (A. a. O. S. 96) einen Ueberblick gewährt — denn man sieht jetzt ein, dafs Nobili's Versuch, die vergleichweise Empfindlichkeit seines Multiplicators und des Galvani'schen Präparates zu bestimmen, so unschätzbare Vortheile uns auch sonst aus dieser Unternehmung erwachsen sind, doch, wie Volta's oben S. 264 erwähnte Versuche, wegen des mifskannten Gesetzes der Nervenerregung durch den Strom, auf einer falschen Grundlage beruhten. Ein absoluter, für alle Formen elektrischer Bewegung allgemein gültiger Vergleich kann hier gar nicht angestellt werden. Auf den Eintritt desselben galvanischen Stromes, auf den der Frosch nicht mehr zu antworten vermag, würde man die kräftigsten Zuckungen erfolgen sehen, wenn man der Ansteigung der Curve, welche den Gang dieses Eintrittes darstellt, eine gröfsere Steilheit verleihen könnte, daher der geringste Hauch von Reibungselektricität, von dem keine Nadel, kein Elektroskop eine Spur mehr angiebt, den Frosch in Tetanus versetzt. Eine Empfänglichkeit, welche zwar staunenswürdig erscheint, indefs, wie zum Theil schon Volta selbst bemerkt hat,[1] gegenüber der Eindrucksfähigkeit der Nervenhaut des Auges auch für das am schnellsten vorübergehende Licht des elektrischen Funkens viel von ihrem Ueberraschenden verliert.

Die Induction von Nebenströmen, und die Magnetisirung von Stahlnadeln, welche beide (die letztere wenigstens vorzugsweise) demselben Gesetze der Erregung durch Schwankungen der Stromstärke gehorchen, kennen, so viel bis jetzt bewufst ist, gleichfalls keine Grenze der Geschwindigkeit der Ströme, bei der jede Wirkung aufhörte. Daher die Multiplicatornadel, welche der Strom der Kleist'schen Flasche nicht abzulenken vermochte, doch in ihrem inneren Gleichgewichtszustande leicht einen Angriff erlitten haben kann, wovon die veränderte Schwingungsdauer Zeugnifs ablegt. Dies ist die fernere Eigenthümlichkeit, worin, wie oben S. 303 (5) verkündigt wurde, der Inductionsvorgang mit dem der elektrischen Nervenerregung abermals übereinkommt.

Man könnte sich dadurch verleiten lassen, einen wesentlichen Zusammenhang zwischen der Form der Erregung, die beiden Vorgängen gemeinschaftlich ist, und der Eigenschaft anzunehmen, dafs es für beide, dem Anschein nach, keine Grenze der Geschwindigkeit des erregenden Stromes giebt, bei der sie zu antworten aufhörten. In der That, da der Strom in beiden Fällen nur so lange wirkt, als er in einer Schwankung begriffen ist, so ist seine fernere Dauer, so wie er eine gewisse

[1] Collezione dell' Opere ec. t. II. p. I. p. 80.* Memoria seconda sull' Elettricità animale. §. 49.

Gröfse erreicht hat, in dieser Gröfse, für die einmal stattgehabte Erregung völlig gleichgültig; insofern aber die Kürze des Vorganges eine gröfsere Steilheit der Curve nach sich zieht, in welcher derselbe geschieht, ist begreiflich, wie auf diese Weise seine abnehmende Dauer stets noch durch die wachsende Gröfse der Erregung während derselben aufgewogen erscheinen kann.

Indessen würde diese Schlufsfolge voreilig sein. Denn sie zieht nicht in Betracht, dafs auch die Sinnesnerven die rasche Empfänglichkeit der Bewegungsnerven theilen, während für jene doch auch eine Erregung von der Form stattfindet, wie sie durch das zweite Glied der rechten Seite der Formel (IV) S. 288 angezeigt ist; und dafs ebenso das weiche Eisen, nach Marianini, der darauf sein »Ré-électromètre« für instantane Ströme gründet,[1] durch den Schlag der Kleist'schen Flasche elektromagnetisirt wird. Nachstehende Betrachtung dürfte daher eher das Richtige treffen.

Die Folge dieser Untersuchungen wird, wie bemerkt, lehren, dafs wir uns mit einigem Rechte in den Nerven Molekeln denken können, welche nach verschiedenen Seiten hin mit verschiedenen elektrischen Eigenschaften begabt sind, und auf deren wechselnder Anordnung die verschiedenen Wirkungen der Nerven zu beruhen scheinen. Die gröfste Wahrscheinlichkeit erlangt diese Vorstellungsweise gerade in Betreff der Einwirkung der elektrischen Ströme auf die Nerven. Nimmt man dazu, dafs man sich die Magnetisirung des Stahles und die Elektromagnetisirung des weichen Eisens gleichfalls unter dem Bilde der regelmäfsigen Anordnung oder der Polarisation kleinster Kräfteträger zu denken gewohnt ist, so ist das Aperçu vielleicht nicht zu gewagt, welches in allen diesen Fällen gewissermafsen eine Verwirklichung des zweiten aus der Pouillet'schen Fiction hergeleiteten Verfahrens erblickt, wodurch der unendlich kurze Stofs unendlich kleiner Massen auf das ballistische Pendel, die Nadel, zu einer endlichen Wirkung gebracht werden könnte. Dies Verfahren verlangte die Verminderung des Trägheitsmomentes der Nadel ins Unbestimmte; eine nicht nur in Wirklichkeit unausführbare, sondern auch vergebliche Forderung, da mit den schwindenden Mafsen des bewegten Stromprüfers gleichzeitig die Wahrnehmbarkeit der wachsenden Bewegung desselben verloren geht. Allein die Natur hat uns für stärkere Ströme in den Magnetisirungserscheinungen, für schwächere noch in den Nerven und Muskeln, gleichsam Systeme von Nadeln bereitet, deren unendlich geringes Trägheitsmoment, dem der unmittelbaren Träger der elektrodynamischen Kräfte nicht unähnlich, eine

[1] Annales de Chimie et de Physique. Mars 1844. 3. Série. t. X. p. 491.

Beweglichkeit derselben ins Unbestimmte zuläfst, und welche zugleich so angeordnet sind, dafs aus ihrem Zusammenwirken, nachdem jede einzeln erregt worden, vermöge ihrer Anzahl endliche wahrnehmbare Wirkungen hervorgehen.

Die Frage, ob es nichtsdestoweniger vielleicht eine bis jetzt noch nicht wahrgenommene Grenze der Beweglichkeit der Nervenmolekeln unter dem Einflusse des Stromes gebe, ist gewifs nicht ohne Interesse. Um so erfreulicher ist es, dafs es keineswegs ganz und gar an einem Anhaltspunkte gebricht, um eine Beantwortung derselben wenigstens vorzubereiten. Es wird nämlich gleichfalls unten äufserst wahrscheinlich gemacht werden, dafs die Erregung der Nerven durch den Strom einfach auf dem elektrochemischen Angriffe des letzteren, auf der Elektrolyse mit einem Worte, beruht. Da nun andererseits der Vorstellungsweise ein sehr hoher Grad von Wahrscheinlichkeit zukommt, dafs kein feuchter Leiter einen Strom führen könne, ohne durch denselben zersetzt zu werden, so würde die Folge sein, dafs die Nervenerregung erst dann ein Ende haben würde, wenn zugleich der Strom selbst nicht mehr Zeit fände, sich in dem feuchten Theile seiner Bahn herzustellen.

Es giebt bereits einen Versuch von Jakobi, der diese Meinung zu bestätigen scheint. Er hatte sich eine an Ort und Stelle nachzusehende Vorrichtung verschafft, mit Hülfe welcher er eine Kette 10 Mal in der Secunde, jedesmal nur während $^1/_{1000}$ einer Secunde schliefsen konnte. »In dem Volta'schen Kreis« (eines Elementes) »war eine »Spirale von Kupferdraht von 70 Fufs Länge eingeschaltet worden, »die ein Hufeisen von weichem Eisen umgab. Die einzige Manifesta»tion der geschlossenen und aufgehobenen Kette, mit der ich mich »vorläufig begnügen mufste,« sagt Jakobi, »war der Funke; und »wirklich war derselbe in den gehörigen Zeitintervallen regelmäfsig »sichtbar, wobei es aber nöthig wurde .... den Contact zu verstärken. »Eine magnetische Einwirkung des Hufeisens auf eine in dessen Nähe »an einem Coconfaden aufgehängte Nadel konnte nicht wahrgenommen »werden .... Als ich statt der 70 Fufs Draht von $1^1/_2$''' Dicke »1000 Fufs von $^3/_4$''' einschaltete, worin 800 Fufs zu einer Spirale »gewunden waren, so konnte ich mit der gröfsten Mühe bei Tage »wenigstens keine Funken wahrnehmen, auch von Commotionen, die »bei diesem Wulst, selbst bei Anwendung nur eines Plattenpaares, »sehr heftig sind, war nichts zu spüren.« [1] Es ist nicht genug zu beklagen, dafs Jakobi nicht auch einen objectiv-physiologischen Ver-

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1838. Bd. XLV. S. 282 ff.

such, in Ermangelung von Fröschen an dem blosgelegten Nerven irgend welchen Thieres, angestellt hat, da der menschliche Körper doch nur ein sehr wenig empfindliches stromprüfendes Mittel abgiebt.

Hier mufs denn noch einer anderen Angabe gedacht werden, welche, wie sie gewöhnlich angeführt wird,[1] gleichfalls auf eine Grenze der Beweglichkeit der Nervenmolecüle zu deuten scheinen würde, obschon sie gewifs auf andere Weise zu erklären ist. Sie rührt von Masson her. Man erinnert sich, dafs dieser im Jahre 1837 das in Deutschland und Italien längst angewandte Blitz- oder Unterbrechungsrad, welches gerade damals bei uns durch Neeff wieder ins Gedächtnifs gerufen worden war,[2] in Frankreich als eine neue Erfindung bekannt machte. Becquerel und Savary statteten der Pariser Akademie der Wissenschaften Bericht über seine mit dieser Vorrichtung angestellten Versuche ab.[3] Das Blitzrad war in den Kreis einer Kette eingeschaltet, in dem sich eine mit einer massiven Eiseneinlage versehene Rolle befand. Beim Drehen des Rades erhielt der eine Nebenschliefsung zur Rolle bildende menschliche Körper heftige Erschütterungen, als Folge einmal des Extra-current, zu dessen Entwickelung in der Rolle eine jede Oeffnung des Kreises Anlafs gab, und zweitens des durch das Verschwinden des Magnetismus des Eisenkerns erzeugten Inductionsstromes. Nach Beschreibung der starken solchergestalt erlangten Wirkungen sagen die Berichterstatter: »A côté de ces actions »énergiques, signalons un résultat remarquable et qui appartient tout-»à-fait à M. Masson. Si le mouvement de la roue dentée, si la suc-»cession des contacts est très-rapide, la sensation, loin de devenir plus »vive, diminue par degrés et disparaît entièrement. Les choses se »passent comme si le circuit, entièrement métallique, n'était jamais »interrompu. Le temps nous semble intervenir ici comme un élément »essentiel de l'établissement du courant électrique dans les différents »circuits inégalement conducteurs qu'il peut traverser.« Die Berichterstatter scheinen also zu glauben, dafs die Dauer der Schliefsungen zu gering war, als dafs der elektrische Strom noch Zeit gefunden hätte, sich zu bilden. Es ist abermals zu beklagen, dafs eine Thatsache von solcher Bedeutung sich nicht durch einige doch leicht anstellbare Versuche erhärtet findet, da alsdann z. B. auch die Nadel einer in den Kreis aufgenommenen Bussole auf Null hätte zurückkommen müssen. Es sind, wie mir scheint, hier indefs noch mehrere andere Deutungen

[1] Becquerel in seinem Traité expérimental etc. t. V. p. 1. 1837. p. 242. — Matteucci in seinem Traité etc. p. 235.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1835. Bd. XXXVI. S. 352.

[3] Comptes rendus etc. 27 Mars 1837. t. IV. p. 456.

möglich. Es mag nämlich der Eisenkern in der Spirale dabei irgend eine verwickelte Rolle gespielt haben. Entweder nämlich hatte er nicht mehr Zeit, sich abwechselnd zu magnetisiren und zu entmagnetisiren, sondern wurde anstatt dessen zu einem stetigen Elektromagneten, höchstens mit sehr flachen Schwankungen seiner Kraft, so dafs der Inductionsvorgang auf den ja an und für sich vielleicht nicht hinreichend starken Extra-current beschränkt wurde; oder es kommt eine ähnliche »physiologische Interferenzerscheinung« in Betracht, wie bei dem von Dove beobachteten, oben S. 264 angeführten Falle, wo eine in den Kreis der Saxton'schen Maschine eingeschaltete Extra-Spirale mit Eisenkern bei einer gewissen Geschwindigkeit des Ankers auch nicht mehr schlug, weil, nach Dove, die Maxima des Extra-current und des Inductionsstromes wegen verschwindenden Magnetismus, durch Zurückbleiben des letzteren in der Zeit, statt sich zu decken, zwischeneinander fielen, und so gleichsam einen Strom von beständiger Gröfse vorstellten.[1] Allein hier brachte noch schnelleres Drehen wieder physiologische Wirkung zu Wege, wovon bei Masson Nichts erwähnt wird.

Nicht zu verwechseln mit diesem Masson'schen Versuche ist ein anderer von Pouillet gleichfalls an dem Unterbrechungsrade angestellter, dessen Beschreibung bei Becquerel[2] also lautet: »M. Pouillet.... »a trouvé que lorsque la durée des intermittences est d'environ $^1/_{200}$ de »seconde, il est impossible de distinguer la discontinuité du passage de »l'électricité, c'est-à-dire, que l'effet produit est le même que si le courant »était continu. Si la durée de l'intermittence est plus grande que $^1/_{200}$, »on sent plus ou moins d'une manière distincte un temps de repos.« Die letzte Bemerkung zeigt deutlich, dafs es sich hier nicht um ein Verschwinden der Empfindung handelt, wie bei Masson, sondern um eine anscheinend völlige Stetigkeit derselben. Unstreitig ist der Zustand gemeint, den Masson selbst folgendermafsen beschreibt, und den wohl Jeder hinreichend aus eigener Erfahrung kennt: »Quand le mouvement est suf»fisamment accéléré, la sensation devient continue et se change en une »contraction douloureuse, en une torsion des bras qui ne permet pas »à l'expérimentateur d'abandonner les conducteurs métalliques.«[3] Erst bei noch schnellerem Drehen fängt die Empfindung zu schwinden an. Ich habe geglaubt, Pouillet's Bestimmung hier nicht übergehen zu dürfen, da sie an und für sich von Interesse ist und da aufserdem Matteucci, die Schlufsbemerkung fortlassend, sie mit der Masson'schen

[1] Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität. S. 84. 85.

[2] Traité expérimental etc. t. V. p. I. p. 285.

[3] Ibid., p. 242.

Angabe vermengt hat,[1] so dafs man glauben kann, sie beziehe sich auf diejenige Geschwindigkeit des Unterbrechungsrades, bei der gar nichts mehr gespürt werden soll.

Was nun die Anwendung des stromprüfenden Schenkels zum Behuf des Erkennens jener schnellen Schwankungen der thierisch-elektrischen Ströme betrifft, so läfst sich nichts Allgemeines darüber sagen, sondern es wird sich das dabei zu befolgende Verfahren aus den jedesmaligen Umständen ergeben müssen. Nur das sei noch in dieser Hinsicht hier bemerkt, dafs auch bei den schnellsten Wirkungen der Reibungselektricität, für die Bestimmung der Strömungsrichtung die nämlichen Regeln, unstreitig mit den nämlichen Ausnahmen, Geltung haben, wie für die langsameren Ströme der galvanischen Ketten. Man erinnert sich, dafs es die Entladung einer kleinen Kleist'schen Flasche von sehr geringer Spannung war, an der Volta die erste auf diese Bestimmungsart bezügliche Beobachtung machte (S. oben S. 307), und schon in jenem Falle kam eine hier stattfindende Eigenthümlichkeit zum Vorschein, deren Nothwendigkeit nachher Marianini verstand und dieselbe deutete. Da nämlich die Oeffnungszuckung ein Product nicht des Stromes, sondern des durch den Strom veränderten Organismus ist, so wächst die Gröfse derselben mit der von der Dauer des Stromes abhängigen Gröfse der Veränderung, welche, nach Marianini (S. oben S. 337), erst nach 7 — 8″ ihr Maximum erreicht: so sieht man ein, dafs dieselbe, bei aufserordentlich kurzer Dauer des Stromes, auch ganz verloren gehen könne, und dies ist in der That bei schwachen reibungselektrischen Wirkungen der Fall. Alsdann bringt der absteigende Strom Zuckung hervor, der aufsteigende Strom hingegen ist völlig wirkungslos,[2] wovon wir sogleich selber ein Beispiel beobachten werden.

[1] Traité etc. ibid.

[2] Annales de Chimie et de Physique. Mars 1829. t. XL. p. 242. Note 1.

## §. V.

## Ueber unipolare Inductionszuckungen.[1]

### 1. Vorbemerkungen betreffend die früheren Wahrnehmungen über elektrische Vorgänge in offenen Inductionskreisen.

Riess war der Erste, welcher zeigte, dafs, damit in einem Nebenleiter, in Folge einer Stromveränderung in einem benachbarten Kreise, ein elektrischer Vorgang stattfinden könne, es nicht nothwendig sei, dafs jener einen vollständigen leitenden Ring bilde. Schaltet man in den geöffneten Nebenleiter einer Kleist'schen Batterie zwischen Spitzen eine dünne Harzplatte ein, und entladet die Batterie durch den Hauptdraht, so findet man die beiden Flächen der Platte in bestimmter Weise verändert. Diese Veränderung erkennt man durch Anhauchen oder, wie es Lichtenberg in ähnlichen Fällen gelehrt hat, durch Bepuderung mit Schwefelblumen und Mennige; sie hat stets einerlei Beziehung zur Richtung des Hauptstromes. Ersetzt man Spitzen und Harzplatte durch Condensatorplatten, die durch ein dünnes Glimmerblatt getrennt sind, indem man zugleich, um die Wiedervereinigung der Elektricitäten in dem Drahte selbst zu verhüten, eine offene Stelle von passender Weite in dem Kreise läfst, so springt ein Funke über, es fangen sich in den Condensatorplatten die Elektricitäten, welche im vorigen Versuche die Oberflächenveränderung, bei geschlossenem Kreise den Nebenstrom bewirkt hätten, und bieten sich der Untersuchung am Elektroskop dar.[2]

Am 23. August 1841 legten ferner A. Masson und Breguet der Jüngere der Pariser Akademie der Wissenschaften eine Abhandlung über Induction vor, worin unter andern der von Riess mit dem Schlage der Kleist'schen Flasche als Hauptstrom angestellte Condensatorversuch, dessen jedoch keine Erwähnung geschieht, mit magnetoëlektrischen und voltaëlektrischen Inductionsströmen ausgeführt wird. Bei der grofsen Macht ihrer Vorrichtungen gelang es den Verfassern mit Strömen der letzteren Art sogar, statt des Condensators Kleist'sche Batterieen zu laden, deren physiologische Wirkung hernach der der Inductionsströme selbst um nichts nachstand. Sie schlossen daraus, dafs ein Inductionsstrom gänzlich in statische Elektricität umgewandelt werden könne;[3]

[1] Mitgetheilt der physikalischen Gesellschaft zu Berlin in ihrer Sitzung vom 4. April 1845.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. November 1840. Bd. LI. S. 351.*

[3] Annales de Chimie et de Physique. Février 1842. 3. Série. t. IV. p. 129.*

eine Folgerung, die jedoch nach den oben S. 258 entwickelten Grundsätzen nicht eher als begründet angesehen werden dürfte, als bis, woran sehr zu zweifeln ist, die gleiche Steilheit der Abgleichungscurve des Inductionsstromes mit der der Flaschenentladung nachgewiesen wäre.

Endlich hat Marianini, dem diese Arbeiten fremd geblieben zu sein scheinen, auf der Versammlung Italiänischer Naturforscher zu Florenz im Monat September desselben Jahres folgende Versuche bekannt gemacht. Schliefst man den Nebenkreis einer Säule erst innerhalb einer gewissen sehr kurzen Frist nach Oeffnung des Kreises der Säule selbst, so erhält man an einem in den ersteren eingeschalteten Multiplicator eine Wirkung in dem Sinne des Oeffnungsstromes. Das Uebertragen der Schliefsung von dem einen auf den anderen Kreis ward durch schnelles Umlegen einer Wippe bewerkstelligt, deren eines Ende in der einen Lage den einen, das andere in der anderen Lage den anderen Leiter zum vollständigen Ringe ergänzte, indem es eine Brücke zwischen zweien Quecksilbernäpfen schlug. Während das eine Ende eingetaucht war, schwebte das andere nur $1^{mm}$ hoch über dem Quecksilber der dazugehörigen Näpfe. Einen ähnlichen Versuch stellte Marianini für den Schliefsungsstrom an. Er will gefunden haben, dafs wenn man den secundären Kreis innerhalb der ersten halben Secunde nach Schliefsung des primären Kreises schliefst, man eine Wirkung im umgekehrten Sinne von demjenigen erhalte, in dem sie erfolgt sein würde, wenn der secundäre Kreis bereits während der Schliefsung des primären geschlossen gewesen wäre; also in dem Sinne des Oeffnungsstromes. Diese Wirkung erscheine um so lebhafter, je kürzer der Zeitraum sei, den man zwischen beiden Schliefsungen habe verstreichen lassen. [1]

Dieser Beobachtungen geschieht hier Erwähnung, wegen der Bedeutung, die Marianini ihnen zuschreibt. Seiner Ansicht nach besteht das Wesen der Induction in einem statisch-elektrischen Vertheilungsvorgange, der, angeregt durch einen ähnlichen Vorgang im primären Kreise, nacheinander alle Punkte des secundären Kreises, gleichviel ob offen, oder geschlossen, durchläuft. Ist der Kreis geschlossen, so gleichen sich die Spannungen, die die Folge jener Vertheilung sind, in demselben in Form eines Stromes ab; ist er offen, so geschieht diese Abgleichung nacheinander zwischen allen Punkten des Nebenleiters und den umgebenden Körpern. Diese letzte Art der Abgleichung geschieht nicht so schnell, dafs beim Schliefsen des Kreises sehr bald nach Entwickelung der Spannungen, sich nicht noch ein Strom kund geben könnte, dem, wie Marianini sich vorzustellen scheint, verschiedene

[1] Annales de Chimie et de Physique. Juin 1844. 3. Série. t. XI. p. 395.

Richtungen zukommen können, je nachdem die Abgleichung mehr oder weniger weit gediehen ist. Die Beobachtung dieses Stromes in seinen verschiedenen Richtungen ist seltsamerweise das Mittel, welches MARIANINI gewählt hat, um sich von dem Dasein jener Spannungen zu überzeugen; und er betrachtet die obigen Versuche um so mehr als beweisführend für seine Lehre, als er im Stande gewesen sein will, aus derselben ihren Erfolg im Voraus mit Sicherheit zu bestimmen.

Diese Ableitung ist jedoch einerseits nicht ohne die allergröfsten Dunkelheiten;[1] andererseits scheint es, als ob MARIANINI's Versuche, in der Form, wie sie von ihm mitgetheilt sind, noch eine andere Deutung zuliefsen, deren Möglichkeit erst von der Hand gewiesen sein müfste, ehe irgend ein Rückschlufs auf die Richtigkeit der theoretischen Vorstellung gestattet werden könnte, aus der sie hervorgegangen sind. Bei beiden Versuchen hat MARIANINI unbedingt vorausgesetzt, dafs, von dem Augenblicke des Geschlossenseins des secundären Kreises an, keine Aenderung mehr in dem elektrischen Zustande des primären Kreises vor sich gegangen sei. Es ist jedoch eine bekannte Thatsache, »dafs man »den Schliefsungsbogen der Säule oder selbst der einfachen Kette öfter, »wenn er aus dem Schliefsungskreise genommen ist, noch eine Zeit»lang magnetische Wirkungen äufsern sieht, so dafs er die Nadel ab»zulenken vermag, ja selbst noch zur Anziehung von Eisen fähig ist.«[2] Es liegt daher nahe, anzunehmen, dafs ein Schliefsungsdraht überhaupt, ebensowenig wie ein Elektromagnet, seine magnetischen Kräfte durch Unterbrechung des Stromes augenblicklich verliert, dafs diese vielmehr stets erst in kürzerer oder längerer Zeit, und in einer Curve von gröfserer oder geringerer Abdachung auf Null herabkommen. Diese Annahme reicht aber, wie man leicht sieht, hin, um MARIANINI's ersten Versuch vollständig zu erklären, ohne seine Zuflucht zu einer im Augenblick der Unterbrechung entstandenen, erst jetzt sich als Strom ausgleichenden Spannung zu nehmen. Uebrigens ist gegen MARIANINI's Verfahren zu erinnern, dafs, bei dem geringen Spiel seiner Wippe zwischen den beiden Quecksilberkuppen, es vermöge des Schwippens des Quecksilbers sehr leicht der Fall gewesen sein könnte, dafs der secundäre Kreis in der That früher oder wenigstens nicht später geschlossen worden sei, als der primäre geöffnet wurde. Was MARIANINI's zweiten Versuch betrifft, so erklärt er sich in ähnlicher Weise einfach daraus, dafs die Kette, deren er sich bediente, keine von beständiger Kraft

[1] Um von mir selbst den Vorwurf der Unverständlichkeit abzuwenden, mufs ich bitten, diese ganze Erörterung im Original nachsehen zu wollen.

[2] FECHNER, Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie. Leipzig 1829. S. 154. 276.

war. Es war eine Säule von 18 Wollaston'schen Trögen, deren Zinkplatten 18 Quadratzoll Oberfläche hatten; der feuchte Leiter bestand aus Wasser mit $^1/_{30}$ Schwefel- und ebensoviel Salpetersäure. Es ist somit natürlich, die dem Oeffnungsstrom gleichgerichtete Wirkung, welche Marianini beobachtete, auf Rechnung der während der ersten Augenblicke nach der Schliefsung in raschem Maafs abnehmenden Stromstärke zu bringen. In diesem Falle dürfte eine Kette von beständiger Kraft eine solche Wirkung nicht zeigen; möglicherweise könnte, wegen der vielleicht auch nicht augenblicklich vor sich gehenden Entwickelung der magnetischen Kräfte, ein Hinneigen nach der anderen Seite, dem Schliefsungsstrome gleichgerichtet, wahrgenommen werden.

Beide Versuche Marianini's bedurften folglich der Wiederholung. Ich bediente mich zu derselben der unten, im vierten Kapitel dieses Abschnittes, §. 1. No. 3, beschriebenen Inductionsrolle und des Museumsmultiplicators (S. oben S. 202), dessen leichte Doppelnadel im Lauf der Versuche 14 — 19″ schlug. Zum Oeffnen und Schliefsen der Kreise diente ein Pohl'scher Gyrotrop nach ausgenommenem Kreuze. Man denke sich die Scheibe desselben durch einen auf die Drehungsaxe der Wippe senkrecht gezogenen Durchmesser in zwei Hälften getheilt und die entsprechenden Gefäfse zu beiden Seiten dieses Durchmessers mit $A$, $B$; $a$, $b$; und $\alpha$, $\beta$; bezeichnet. In $a$, $b$ ruhen alsdann die beiden Drehpunkte der Wippe, während ihr eines Ende in der einen Lage, welche I heifsen möge, in $A$, $B$, ihr anderes in der anderen, welche II heifsen möge, in $\alpha$, $\beta$ taucht. Sollte der secundäre Kreis nach Oeffnung des primären geschlossen werden, so wurden die Enden des ersteren z. B. in $B$ und $b$, die des letzteren in $\alpha$ und $a$ angebracht. Durch Umlegen der Wippe aus der Lage II in die Lage I wurde alsdann dem verlangten Wechsel der Verbindungen Genüge geleistet. Das Spiel der Wippe zwischen den Quecksilberkuppen der Gefäfse $\alpha$, $\beta$, und denen der Gefäfse $A$, $B$, betrug dabei 10$^{mm}$, so dafs an ein gleichzeitiges Geschlossensein beider Kreise durch Schwippen des Quecksilbers nicht wohl gedacht werden kann. Sollte hingegen der secundäre Kreis nach dem Schliefsen des primären geschlossen werden, so wurden die Verbindungen so angebracht, dafs die Enden des letzteren Kreises z. B. in $a$, $\alpha$, die des ersteren in $b$, $\beta$, tauchten, und es wurde zugleich Sorge getragen, dafs das Quecksilber in $\alpha$ etwas höher stand als in $\beta$. Ward dann die Wippe aus der Lage I in die Lage II geführt, so erreichte das $\alpha$ entsprechende Ende eher die zugehörige Quecksilberkuppe, als das $\beta$ entsprechende, und auf diese Weise konnte die Schliefsung des primären Kreises eine fast beliebig kleine Zeit vor Schliefsung des secundären bewerkstelligt werden.

Das Ergebnifs der Versuche war folgendes. Was erstens den Erfolg des Schliefsens des secundären nach Oeffnen des primären Kreises betrifft, so erhielt ich, bei nur einigermafsen rascher Bewegung der Wippe, stets lebhafte Wirkungen in dem Sinne des Oeffnungsstromes, wie es MARIANINI angegeben hat, gleichviel ob ich mich eines GROVE'schen Bechers von ungefähr 85 Quadratcentimeter benetzter Platinoberfläche, mit frisch amalgamirtem Zink und frischer Füllung, [1] oder eines kleinen HARE'schen Calorimotors bediente, der mit $^1/_{10}$ Schwefelsäure und ebensoviel Salpetersäure zugerichtet war. Sehr leicht bringt man es dahin, die Wippe so schnell umzulegen, dafs durchaus kein Unterschied mehr zwischen der auf diese Weise erhaltenen Wirkung und derjenigen wahrzunehmen ist, die unter den gewöhnlichen Umständen, bei dauernd geschlossenem secundären Kreise, hervorzutreten pflegt. Die Gröfse der Ausschläge an meinen Vorrichtungen überstieg nicht 30°. Ein genaues Zeitmafs für die gröfste Dauer des Umlegens der Wippe, welche noch merkliche Wirkungen zuläfst, bin ich anzugeben leider aufser Stande.

Beim Schliefsen des secundären Kreises nach Schliefsen des primären auf die oben angegebene Art blieb hingegen, bei Anwendung der Kette von beständiger Kraft, die Nadel völlig unbewegt. Der Calorimotor gab, wie zu erwarten war, nach MARIANINI's Angabe in der That eine Wirkung in dem Sinne des Oeffnungsstromes. Allein sie blieb stets viel schwächer als die beim Schliefsen nach Oeffnen der Kette erfolgende, nämlich 3—5° betragend, während der auf gewöhnliche Weise beobachtete Schliefsungsstrom, und der Oeffnungsstrom auch bei nachträglichem Schliefsen des secundären Kreises 20—30° Ausschlag gaben. Dies weicht von MARIANINI's Ergebnissen ab, welcher im Gegentheil berichtet, die durch Schliefsen des secundären Kreises nach Schliefsen des primären erhaltene Wirkung sei leichter zu beobachten und kräftiger gewesen, als die durch Schliefsen des ersteren nach Oeffnen des letzteren erhaltene. Es läfst sich nicht übersehen, in wie fern dieser Unterschied durch den Umstand bedingt sein könnte, dafs MARIANINI eine achtzehnpaarige Säule, ich selbst nur ein einziges Element anwandte. Die gleichfalls unbeständige Combination einer Säule aus 6—12 GROVE'schen Elementen, welche in kleinen WHEATSTONE'schen Trögen angeordnet sind, [2] mit Platinelektroden von 30 Quadratcentimeter innerer benetzter Oberfläche in Wasser mit Schwefelsäure wie 12 : 1 dem Volum nach, gab mir nur einmal eine Spur von Wirkung in dem verlangten Sinne.

[1] S. unten, Kap. IV. §. 1. No. 3.

[2] S. unten, ebendas., No. 2.

Auf alle Fälle, sieht man, kann von Marianini's Theorie nicht mehr die Rede sein, da sie jene Wirkung im Sinne des Oeffnungsstromes als nothwendig fordert, bei Ketten von beständiger Kraft aber keine solche vorhanden ist, während doch die Induction ungestört vor sich geht. Der Zusammenhang dieser Versuche Marianini's mit den Eingangs erwähnten von Riess, Masson und Breguet hat sich somit als illusorisch erwiesen; es haben dieselben mit den Inductionserscheinungen, die bei offenem Nebenleiter stattfinden, nichts zu schaffen.

Bemerken will ich noch, dafs ich diese Versuche auch mit weichen Eiseneinlagen, sowohl massiven als in der Form gefirnifster Drahtbündel von gleichem Gewicht in die Rolle ausgeführt habe. Für die Oeffnungswirkung blieb das Ergebnifs unverändert; man bringt es leicht dahin, ganz den nämlichen Ausschlag wie beim Oeffnen des primären Kreises bei geschlossenem secundären zu erhalten. Beim Schliefsen des letzteren nach Schliefsen des ersteren erscheint dagegen jetzt eine Wirkung in dem Sinne des Schliefsungsstromes, zum Zeichen, dafs die Eisenkerne einer sehr merkbaren Zeit bedürfen, um das Maximum ihres Magnetismus anzunehmen. Nie erreicht aber diese Wirkung, auch beim schnellsten Umlegen der Wippe und dem geringsten Höhenunterschiede der Quecksilberkuppen in $\alpha$ und $\beta$, auch nur einigermafsen die Gröfse derjenigen, welche unter den gewöhnlichen Umständen erfolgt. Diese betrug sowohl beim massiven Eisen als bei den Drähten stets über 90°; beim Schliefsen nach Marianini's Art erhielt ich für massives Eisen 20°, für Drähte nur 12°. Das Eisen erreicht also, unter dem Einflufs des Stromes, das Maximum der Polarität in viel kürzerer Zeit, als es, nach Unterbrechung desselben, unter dem Einflufs der unbekannten Ursache, [1] welche die Depolarisation der magnetischen Elemente herbeiführt, seinen Magnetismus einbüfst. Dafs die Drähte, obschon ihre Wirkung unter den gewöhnlichen Umständen die des Eisenkernes übertraf, beim Schliefsen des secundären Kreises erst nach Schliefsen des primären demselben an Wirksamkeit nachstehen, ist, nach den Auseinandersetzungen des zweiten Paragraphen dieses Kapitels offenbar ganz in Uebereinstimmung mit ihrer gröfseren physiologischen Wirkung. Vergl. oben S. 413 ff.

[1] S. Dove's Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität u. s. w. S. 54.

## 2. Bestätigung der früheren Ergebnisse mit Hülfe des stromprüfenden Froschschenkels.

Ich komme, nach Hinwegräumung dieses Aufenthaltes, zum eigentlichen Gegenstande der vorliegenden Mittheilung. Es ist die Möglichkeit der Bewährung der von Rɯss und seinen Nachfolgern erhaltenen Ergebnisse auf physiologischem Wege; ein Umstand, der für die uns in der Folge sehr häufig entgegentretende Anwendung der Inductionsströme bei den elektrophysiologischen Untersuchungen, wie man alsbald übersehen wird, von der gröfsten praktischen Wichtigkeit ist.

Die Grundthatsache dieses Gebietes, aus der alle übrigen fliefsen, ist folgende:

»Steht der Nerv des stromprüfenden Schenkels in Verbindung »mit dem einen Ende eines offenen Inductionskreises, und entweder »der Schenkel oder das andere Ende des Kreises ist nach dem Erd»boden hin abgeleitet, so findet Zuckung statt jedesmal dafs man in »der Nähe des Kreises einen solchen Vorgang erregt, der, wenn der »Kreis geschlossen wäre, einen secundären Strom in demselben zur »Folge haben würde.«

Dieser Vorgang kann, wie man weifs, mehrfacher Art sein; ich werde zuerst die Erscheinungen beschreiben, wie sie sich mir bei reiner voltaëlektrischer Induction, sodann beim Einlegen von Drahtbündeln in die leere Rolle darstellten.

Ich verfuhr dabei mit Hülfe der oben bezeichneten Inductionsvorrichtung, in deren primärem Kreise sich das gröfsere Grove'sche Element befand. Als Ende des Inductionskreises, um den Nerven des stromprüfenden Schenkels darauf zu legen, diente, der Bequemlichkeit halber und um möglichst unter denselben Bedingungen zu arbeiten, welche später bei den thierisch-elektrischen Versuchen obwalten sollten, eines der Platinbleche der Fig. 20 Taf. II dargestellten Vorrichtung, welche schon aus der blofsen Abbildung verständlich sein dürfte, deren Beschreibung jedoch abermals im vierten Kapitel dieses Abschnittes §. IV. nachzulesen ist. Die Vorrichtung stand auf einer durch Siegellackklötze getragenen Porzellanplatte, auf derselben lag der stromprüfende Schenkel, mit seinem Nerven auf dem einen Platinblech, welches mit dem einen Ende der gleichfalls sorgfältig isolirten Inductionsvorrichtung in Verbindung stand. Berührte ich den Schenkel mit dem Finger, oder wurde das andere Ende des Inductionskreises mit dem Erdboden verknüpft, und nun die erregende Kette abwechselnd geschlossen und geöffnet, so zuckte der Schenkel. Die Isolation mufs sogar sehr voll-

kommen sein, damit nicht auch ohne absichtliche Ableitung Zuckungen entstehen: zum Beweis, dafs wir es hier mit der Ausgleichung von Elektricität, welche im Zustande hoher Spannung gewesen, zu thun haben. Der geringste Hauchüberzug über die Porzellanplatte, ja, wie es mir in einem Falle ganz unzweideutig schien, das bloſse Hinhalten des Fingers in groſser Nähe an die Muskeln reicht hin, um Zuckung zu erzeugen. Um so leichter geschieht dies natürlich, je stärker der Inductionsvorgang wird; ich habe mich aber, selbst bei mächtigen Funken der erregenden Kette, ganz mit Drähten angefüllter Rolle, und hoher Erregbarkeit des stromprüfenden Nerven — ich bediente mich zum Theil der bewegenden Wurzeln selbst — nichtsdestoweniger überzeugt, dafs ohne Ableitung eines der beiden Enden keine Zuckung entsteht. Die Zuckungen sind übrigens, bei nur einigermafsen kräftigen Vorrichtungen, so lebhaft, dafs man leicht, wenn das Schliefsen und Oeffnen der Kette in hinreichend kleinen Zeiträumen regelmäfsig wiederkehrt, also z. B. durch ein Unterbrechungsrad vermittelt wird, förmlichen Tetanus des stromprüfenden Schenkels erhält. [1] Etwas günstiger scheint die Ableitung des Schenkels selbst, als die des anderen freien Endes des Kreises zu wirken. Dies geht wohl so weit, dafs, bei geringer Erregbarkeit des Schenkels oder geringer Kraft der Vorrichtungen, die Zuckung beim Ableiten nicht des Schenkels selbst, sondern des anderen Endes ganz versagt. Die Zuckung bleibt aus, wenn das metallische Ende des Inductionskreises, sei's unterhalb, sei's oberhalb der Stelle, wo der Nerv aufliegt, ableitend berührt wird. Wird der stromprüfende Schenkel statt mit dem Nerven, mit dem Fufse aufgelegt, so findet nur noch Zuckung statt, wenn der Nerv selbst, nicht aber, wenn die Muskeln, und auch nicht, wenn das andere Ende des Kreises abgeleitet werden. Die Unterbindung hemmt diese Erscheinung nicht — wie sich von selbst versteht, da der Nerv in seiner ganzen Ausdehnung, auch unterhalb der gequetschten Stelle, von der Elektricität durchflossen wird; sie hört aber ebenso natürlich in Uebereinstimmung mit vielen älteren Erfahrungen (S. oben S. 253) auf, so wie das Unterband dicht über der Eintrittsstelle des Nerven in den Muskel angebracht ist. Sie findet auch statt, wenn der Nerv, statt unmittelbar auf dem Platinblech aufzuliegen, auf einem dasselbe berührenden feuchten Fliefspapierstreifen ruht.

Ist man im Besitz eines stromprüfenden Schenkels, der sich auf der fünften Stufe der Erregbarkeit nach Ritter, der dritten nach Nobili befindet, wovon man sich erst an einer schwachen Kette von be-

[1] S. oben, S. 262. 270; — unten, 3. Abschn., Kap. IV. §. 11.

kannter Strömungsrichtung zu überzeugen hat (S. oben S. 305), so ist es leicht, mittelst des Gesetzes der Zuckungen, die Art der Elektricität zu bestimmen, die durch den Schenkel abfliefst. Es zeigt sich nämlich alsdann, dafs Zuckung nur erfolgt, wenn die Vorrichtung so angeordnet ist, dafs bei Verbindung des Fufses mit dem freien Ende des Inductionskreises, der dann stattfindende Strom in dem Nerven absteigend sein würde; bei der anderen Strömungsrichtung bleibt Alles in Ruhe. Dasselbe bewährt sich, wenn es nicht der Schenkel selbst ist, der ableitend berührt wird, sondern das andere freie Ende des Inductionskreises. Bringt man an beide Enden desselben stromprüfende Schenkel an, so zucken diese, so zu sagen, complementär, d. h. der eine antwortet, wenn der andere schweigt, und umgekehrt. Dabei gilt die Regel, denjenigen Schenkel ableitend zu berühren, der, nach dem Gesetze der Zuckungen, in Ruhe bleiben soll, um nämlich nicht durch den bereits angemerkten Umstand in die Irre geführt zu werden, dafs die Zuckung bei Ableitung des Schenkels selbst stärker ausfällt als bei Ableitung des anderen Endes der Rolle.

Die Theorie dieser Erscheinungen ist nicht ohne Schwierigkeiten. In dem Augenblicke, wo der inducirende Vorgang stattfindet, stellt der Inductionskreis eine offene Säule vor. Der Uebergang desselben aus dem indifferenten Zustand in den der offenen Säule ist es aber nicht, der Zuckung bewirkt, denn alsdann würde, um dieselbe zu beobachten, keine Ableitung nothwendig sein. Die Zuckung rührt vielmehr von der unipolaren Ableitung dieser offenen Säule her. Bei Ableitung des positiven Pols durch den Nerven eines stromprüfenden Schenkels wird dieser absteigend von positiver Elektricität durchflossen, und zuckt daher. Der Abflufs der positiven Elektricität findet aber durch den ganzen Kreis, bis zum Schenkel, dessen Nerv das andere Ende desselben berührt, statt. Auch dieser Nerv wird also davon, aber aufsteigend durchströmt, und antwortet deshalb nicht, wenn seine Erregbarkeit bereits vermindert ist. Da ihm aber auch nur die positive Elektricität aus der Masse des Schenkels selbst zu Gute kommt, so fällt die Zuckung, auch bei umgekehrten Zeichen, hier an und für sich schwächer aus, als an dem unmittelbar abgeleiteten Schenkel, der von der Elektricität des ganzen Kreises durchströmt wird. So weit scheint die Sache klar zu sein; undeutlich bleibt hingegen folgendes. Nach Abflufs der positiven Elektricität mufs, der Analogie der offenen Säule nach, die Spannung des positiven Poles Null, die des negativen das doppelte der ursprünglichen geworden sein. Es fragt sich nun, was aus dieser negativen Elektricität werde, so wie die Inductionswirkung, die doch nur von augenblicklicher Dauer ist, nachgelassen hat, d. h. die offene, an einem Ende

abgeleitete Säule sich wieder in einen indifferenten Leiter verwandelt sieht. Das natürlichste scheint anzunehmen, dafs jetzt diese negative Elektricität der positiven nach durch das abgeleitete Ende in den Erdboden fliefst. Allein dabei stöfst man auf einen nicht leicht zu schlichtenden Widerspruch. Die negative Elektricität würde nämlich alsdann den Nerven des nicht abgeleiteten Schenkels in aufsteigender Richtung durchströmen. Dies heifst so viel, als dafs er durch dieselbe Menge von positiver Elektricität absteigend durchströmt werde. Man sieht daher nicht ein, weshalb nicht auch hier das Präparat zuckt, oder mit anderen Worten, die complementären Zuckungen der Schenkel an beiden Enden bleiben räthselhaft. Dieselbe Schwierigkeit kehrt für den Oeffnungsschlag, mit Umkehr aller Zeichen, wieder.

Eine andere Annahme über das Ende, welches jene negative Elektricität nimmt, ist allerdings geeignet, diese Dunkelheiten zu heben, läfst sich aber, wie es scheint, nicht durch den Versuch erhärten. Man kann sich nämlich vorstellen, dafs dieselbe während der ganzen Zeit, dafs die primäre Kette geschlossen ist, oder, was auf Eins herauskommt, dafs der Stahlmagnet in der Rolle liegt u. s. w., im gebundenen Zustande an dem isolirten Ende verharrt und erst im Augenblicke des Oeffnens jener Kette, des Entfernens des Magnetes frei wird, wo sie dann erst der positiven Elektricität in den Erdboden folgt und auf ihrem Wege den Schenkel am nicht abgeleiteten Ende, dessen Nerven sie aufsteigend durchströmt, zum Zucken bringt. Ist diese Vorstellung richtig, so mufs sich die negative Elektricität am Elektroskop oder wenigstens mit Hülfe des Condensators nachweisen lassen. Dies gelingt aber nicht; selbst an einem sehr empfindlichen Bohnenberger'schen Elektroskop nach Fechner's Einrichtung liefs sich, bei ganz mit Drähten angefüllter Rolle und trefflichem Zustande der primären Kette, keine sichere Spur von Elektricität entdecken. Indessen liegt die Ausflucht nahe, diesen nichtigen Erfolg als einen neuen Beweis der überlegenen Empfindlichkeit des stromprüfenden Schenkels anzusehen.

Wie die bisherigen Erscheinungen denen an einer offenen Säule gleichzustellen sein dürften; so scheinen die folgenden mit denen an der unvollkommen geschlossenen [1] verglichen werden zu müssen. Diese sind es, welche erst für uns von praktischer Bedeutung werden. Man denke sich jetzt jedes der beiden Enden der Inductionsrolle mit einem der Platinbleche der Vorrichtung Fig. 20 leitend verkettet, den

[1] S. Pfaff in Gehler's physikalischem Wörterbuche. Bd. IV. Abth. II. 1828. Artikel »Galvanismus.« S. 845.* — Fechner's Lehrbuch u. s. w. S. 70.* — Munk af Rosenschöld in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1838. Bd. XLIII. S. 208.*

Nerven über diese beiden Bleche gebrückt, so dafs er den Inductionskreis wirklich schliefst, denselben aber, aufserhalb der Bleche, unterbunden. So lange nun der stromprüfende Schenkel völlig isolirt ist, so lange findet keine Zuckung beim Schliefsen und Oeffnen des primären Kreises statt; weil die Nervenerregung sich durch die gequetschte Stelle nicht mehr fortzupflanzen vermag. So wie man ihn aber ableitend berührt, treten, trotz des Unterbandes, sofort die lebhaftesten Zuckungen ein. Ist der Schenkel auf der dritten Stufe der Erregbarkeit nach Nobili, so erhält man jedoch nur Zuckung, wenn der hier nun wirklich zu Stande kommende Inductionsstrom im Nerven zwischen den Platinblechen aufsteigend ist, nicht, wenn er den entgegengesetzten Weg einschlägt. Da der Nerv hiebei unterbunden ist, so versteht es sich von selbst, dafs der ganze Theil desselben oberhalb der gequetschten Stelle durch einen feuchten Leiter irgend einer Art ersetzt werden kann. Die Erscheinungen bleiben in der That dieselben, wenn statt des oberen Endes des Nerven ein nasser Fliefspapierstreifen über die Platinbleche gebrückt wird, die er um etwas überragt, und der Nerv auf das überstehende Ende desselben zu liegen kommt. Auch jetzt kann man noch den Nerven unterbinden, um sicher zu sein, dafs es nicht Stromtheile sind, die sich durch den Fliefspapierstreifen bis zu ihm hin verbreitend die Zuckung hervorbringen; man kann übrigens leicht dem hervorragenden Ende dieses Streifens eine solche Länge geben, dafs an diese Deutung nicht mehr zu denken ist, die auch leicht dadurch widerlegt werden kann, dafs die Zuckungen eben nur eintreten, wenn der Schenkel ableitend berührt wird. Auch bei dieser Anordnung zuckt ein auf der dritten Stufe der Erregbarkeit nach Nobili stehender Schenkel nur dann, wenn der Inductionsstrom in dem dem Fliefspapierstreifen entlang bis zwischen die Bleche fortgesetzt gedachten Nerven aufsteigend sein würde. Weshalb dem so sein müsse, leuchtet bei folgender Form des Versuches sogleich ein.

Man überbrücke beide Platinbleche mit einem etwas längeren feuchten Fliefspapierstreifen. Legt man den nicht unterbundenen Nerven zwischen den Blechen auf denselben, so wird stets und unter allen Umständen Zuckung stattfinden, gleichviel ob der Schenkel ableitend berührt werde oder nicht, und gleichviel wo der Nerv auf dem Streifen aufliegt; weil nämlich ein Theil des Inductionsstromes seinen Weg unmittelbar durch den Nerven nimmt. Wird hingegen dieser unterbunden, so tritt Zuckung nur noch dann ein, wenn der Schenkel ableitend berührt ist und es geben sich aufserdem noch dafür besondere Bedingungen der Lage des Nerven auf dem Fliefspapierstreifen kund. Der Schenkel bleibt völlig in Ruhe, wenn der Nerv, senkrecht auf die

Längsaxe des Streifens, die Länge desselben gerade halbirt. Zuckung findet dagegen statt, so wie diese Bedingung nicht erfüllt ist, und das Präparat noch seine ganze Erregbarkeit besitzt. Ist aber bereits eine niedere Stufe derselben erreicht, so zuckt der Schenkel nur, wenn der Nerv auf der Hälfte des Streifens aufliegt, die dem Eintritt des Stromes aus der einen Platinelektrode in den Streifen entspricht. Hat man daher zwei Präparate mit ihren Nerven auf beiden Hälften des Streifens liegen, so zucken sie, beim Oeffnen und Schliefsen des primären Kreises, complementär. Keinesweges brauchen dabei beide Präparate ableitend berührt zu werden, wobei es nicht leicht sein würde, die unipolare Zuckung von einer solchen durch Nebenschliefsung zu unterscheiden; sondern die Ableitung eines einzigen der beiden Schenkel reicht hin, nur dafs freilich die unmittelbare Ableitung immer etwas günstiger ist. Die Zuckung ist um so kräftiger, je näher den Elektroden der Nerv aufgelegt wird. Sie bleibt auch dann nicht aus, wenn er auf das Metall selbst zu liegen kommt. Den Indifferenzpunkt in der Mitte des unvollkommen schliefsenden feuchten Leiters findet man begreiflich um so leichter, je länger derselbe ist; erstens wegen der beträchtlicheren Gröfse der Verschiebungen und zweitens wegen der gröfseren Schwäche aller Wirkungen. Diese Erscheinungen der unvollkommen geschlossenen Säule fanden selbst dann noch statt, wenn ich statt eines mit Wasser oder Kochsalzlösung getränkten Fliefspapierstreifens, einen dicken Asbestdocht, der mit rauchender Salpetersäure gefüllt war, über die Platinenden brückte.

Alle diese Versuche gelangen mir in gleicher Weise an einer kleinen Saxton'schen Maschine von Stöhrer's Arbeit, deren Magnet aus fünf Lamellen von 150$^{mm}$ Länge und 22$^{mm}$ Breite besteht. Um indefs, bei unvollkommen geschlossenem Inductionskreise, den neutralen Punkt am feuchten Leiter aufzufinden, mufste der Magnet noch gedeckt und der Anker sehr langsam gedreht werden.

Hingegen mit dem Nebenstrom der elektrischen Batterie glücken diese Erfahrungen und zwar deshalb nicht, weil man stets und unter allen Umständen Zuckungen erhält, gleichviel ob man die beiden Enden des offenen Inductionskreises, oder das Präparat bei unvollkommen geschlossenem Kreise auf das sorgfältigste isolirt oder nicht und gleichviel welches die Lagebedingungen desselben in Bezug auf die muthmafsliche Richtung der Strömungen seien. Ich bediente mich dabei einer der beiden Rollen des von Dove in seinen »*Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität*«[1] beschriebenen Differentialinduc-

[1] A. a. O. S. 17.

tors für Reibungselektricität, und einer schwach geladenen Flasche von nur 10 Quadratzoll Belegung; der stromprüfende Schenkel befand sich in einem Nebenzimmer, durch dessen verschlossene Thür die Drähte geleitet waren.

### 3. Von der praktischen Bedeutung der unipolaren Inductionszuckungen bei elektrischen Reizversuchen mit Inductionsströmen.

Die Gefahr, mit welcher die unipolaren Zuckungen bei feinen Reizversuchen bedrohen, ist jetzt wohl klar. Ohne diese Erscheinung zu kennen, wird man es, bei tausend Gelegenheiten, vorziehen, sich der Inductionsvorrichtung statt einer Kette zu bedienen, man wird den Nerven des nicht isolirten Präparates über die Enden der secundären Rolle legen, und so fortdauernd Zuckung erfolgen sehen, wo ohnedem vielleicht keine entstanden wäre: so z. B. findet man auf diese Weise eine empfindende Wurzel wirksam, und ein unterbundener Nerv scheint die Nervenerregung noch fortpflanzen zu können.

Die Vorkehrungen, die hier zu treffen sind, um sich vor dergleichen Irrungen zu bewahren, liegen ebenfalls am Tage. Die Regel ist:

»dafs beim Gebrauch einer Inductionsvorrichtung in Reizversuchen »die thierischen Glieder sowohl als die ganze secundäre Strombahn »stets auf das vollkommenste isolirt seien, gleich als ob es sich um »Reibungselektricität handelte.«

Um sich zu überzeugen, dafs die Isolation ausreichend ist und keine unipolare Zuckung stattfindet, hat man nur nöthig, entweder den unterbundenen Nerven eines stromprüfenden Schenkels über die Enden der secundären Rolle zu lagern, oder man brückt über dieselben einen Streifen feuchten Fliefspapiers, der das eine um eine gewisse Strecke überragt, und legt auf dieses hervorragende Stück das Ende des Nerven, was insofern vorzuziehen ist, als dabei der Nerv nicht durch die Unterbindung beschädigt und behufs anderer Versuche unbrauchbar gemacht wird. In beiden Fällen darf bei nicht abgeleitetem Schenkel keine Zuckung beim Oeffnen und Schliefsen eintreten. Uebrigens sei bemerkt, dafs man nur selten solche Inductionskräfte brauchen wird, bei denen, wenn der Kreis offen ist, bereits unipolare Zuckung entsteht. Nichtsdestoweniger halte ich es für gerathener, sich der einfachen Kette zu bedienen, obschon ihre Anwendung manche Nachtheile mit sich bringt, die aus dem im dritten Paragraphen über den Einfluss der geschlossenen Kette auf die Erregbarkeit Gesagten wohl ohne weiteres einleuchten. Wenigstens ganz unerläfslich scheint, dafs man sämmtliche

an der Inductionsvorrichtung gewonnenen Ergebnisse stets an der einfachen Kette controllire. Es versteht sich von selbst, dafs die Mafsregel der Isolation auch dann gilt, wenn die zu beobachtende Zuckung zur Entscheidung einer Frage, nicht betreffend die Zustände der thierischen Glieder, sondern im Gegentheil hinsichtlich des Inductionsstromes selbst, beizutragen bestimmt ist.

Wir werden uns in der Folge sehr häufig der Schläge der Inductionsrolle in dieser Zusammenstellung bedienen: die thierischen Gebilde schliefsen den Multiplicatorkreis. Ein freigelegter, an seinem Hirnende losgeschnittener Nerv überbrückt die Enden der secundären Rolle, und wird, beim Drehen eines Unterbrechungsrades im primären Kreise, von einer Reihe abwechselnd gerichteter Stöfse getroffen. Da der Multiplicatorkreis und der secundäre Kreis durch nichts anderes mit einander in leitender Verbindung stehen, als durch den Nerven, so kann bei dieser Anordnung kein Theil des Inductionsstromes in den Multiplicatorkreis übergehen. Dies wird unten noch durch Versuche erhärtet werden. [1] Allein es fragt sich, kann die Elektricität, welche sich, bei dieser Versuchsweise, unablässig durch den Nerven verbreiten mufs, so wie nicht die Vorrichtung auf das vollkommenste isolirt ist, eine Wirkung auf die Multiplicatornadel ausüben? Dafs sich hier wirklich, wie bei den unipolaren Inductionszuckungen, unaufhörlich Elektricität ergiefst, ist nicht zu bezweifeln, denn man kann die Zusammenziehungen der thierischen Glieder nur sehr unvollständig dadurch aufheben, dafs man den Nerven in der Mitte seiner freien Strecke unterbindet; es mufs dies, um völlig wirksam zu sein, dicht über der Eintrittsstelle in den Muskel stattfinden.

In Betreff einer Einwirkung dieser abfliefsenden Spannungselektricität auf die Multiplicatornadel können wir aufser Sorge sein. Denn erstens haben wir es mit abwechselnd gerichteten Strömen zu thun, so dafs höchstens doppelsinnige Ablenkung der Nadel nach Poggendorff die Folge einer solchen Einwirkung sein könnte. Es wird aber unten, an der so eben angeführten Stelle, gezeigt werden, dafs diese bei so schwachen Strömen, wie die, um welche es sich hier handelt, noch gar nicht eintritt; aufserdem ist sie stets ein fernerer Ausschlag von einer schon bestehenden Ablenkung von beliebigem Zeichen aus, während wir es im Gegentheil immer mit rückgängigen Nadelbewegungen zu thun haben werden. Zweitens ist ganz undenkbar, wie der Strom von Spannungselektricität, auf den Multiplicatorkreis an einer beliebigen Stelle überströmend, sich in demselben in der Art

[1] Man sehe unten, 3. Abschn., Kap. IV. §. 11.

vertheilen sollte, wie es nöthig wäre, um auf die Nadel zu wirken; er wird sich vielmehr ohne alle bestimmte Richtung, dem Draht nach beiden Seiten folgend, über das Ganze verbreiten, wie etwa ein Conductorfunken über die Oberfläche eines ihm mit der Hand genäherten Ringes. Drittens endlich habe ich selbst die allerstärksten gleichgerichteten Inductionsströme wirkungslos auf die Nadel gefunden, als das eine Ende des secundären Kreises isolirt blieb, und das andere durch den Multiplicator zur Erde ging; offenbar die günstigste Anordnung, um hier etwas wahrzunehmen, wenn dies überhaupt möglich wäre. Die dabei angewandten Vorrichtungen verdankte ich abermals der Güte des Herrn Professor Dove. Es waren eine Saxton'sche Maschine nach Stöhrer's Princip von den Gebrüdern Kriegsmann in Magdeburg, gröfster Art, mit drei Magneten und sechs kreisenden durch einen eisernen Ring verbundenen Rollen; dann ein Multiplicator von 4500 Fufs Drahtlänge, und 5500 sorgfältig isolirten Windungen, von der Arbeit des Herrn Kleiner, dessen Nadelpaar 13″.6 schlug. Auch beim schnellsten Drehen gab sich bei diesen vorzüglichen Hülfsmitteln nicht die leiseste Spur einer Wirkung kund.

---

Während des Druckes des vorliegenden Paragraphen erhielt ich das elfte diesjährige Stück von Poggendorff's *Annalen u. s. w.*, geschlossen am 1. October 1846, worin sich (Bd. LXIX. S. 353) ein zum Theil auf den Gegenstand dieses Paragraphen bezüglicher Aufsatz von Dr. Sinsteden in Pasewalk unter der Aufschrift findet: »Elektrische Spannungserscheinungen, selbst Funken an ungeschlossenen Inductionsspiralen und an Magneten, welche Elektricität in diesen Spiralen induciren.« Der Verfasser hat an einer mächtigen Saxton'schen Maschine Erscheinungen freier positiver und negativer Elektricität beziehlich an beiden ruhenden Enden der kreisenden Rollen mit Drahteinlagen beobachtet, stärker, wenn eines der beiden Enden nach dem Erdboden abgeleitet war, als wenn sich beide isolirt fanden, am stärksten begreiflich, wenn, wie bei den physiologischen Wirkungen der gewöhnlichen Saxton'schen Maschinen, durch Unterbrechung des Stromes in passenden Stellungen des Ankers der dann in der Rolle sich entwickelnde Extra-current zu Hülfe genommen ward. Bei dieser letzteren Anordnung erfolgten sogar ohne Condensator Funken, welche an empfindlichen Hautstellen ein höchst schmerzhaftes Stechen verursachten. Eine noch unerklärte, merkwürdige Thatsache, die sich bei dieser Gelegenheit darbot, war das gleichzeitige Auftreten freier Spannungselek-

tricität an dem isolirten Magnet selbst, welche von keiner gewöhnlichen Vertheilung herrühren konnte, da sie dem Zeichen nach mit der übereinkam, die sich an dem nicht zur Erde abgeleiteten Ende der Rolle anhäufte. Aehnliche Wirkungen wurden an einer voltaëlektrischen Inductionsvorrichtung nachgewiesen. Durch diese Ergebnisse werden die von mir erhaltenen freilich etwas in den Hintergrund erster, spurweiser Wahrnehmungen zurückgedrängt; indessen scheint es mir, als bleibe ihnen nichtsdestoweniger der Werth, dafs sie die Gesetze der solchergestalt zu erhaltenden physiologischen Wirkungen deutlich darlegen, sich auf die unvollkommen geschlossenen Inductionsrollen erstrecken, und auch den praktischen Gesichtspunkt der Vorsichtsmafsregeln hervorheben, die fortan, bei physiologischer Prüfung inducirter Ströme u. d. m., anzuwenden sind. Da diese Bogen erst mehrere Monate nach dem Aufsatze des Herrn Dr. Sinsteden zu erscheinen bestimmt sind, so sei es mir, um diesen Theil meiner Untersuchungen vor dem Verdacht der Unselbständigkeit zu wahren, erlaubt, mit Verweisung auf die Anm. 1 oben S. 423 hier Folgendes aus einem Berichte über die Thätigkeit der physikalischen Gesellchaft zu Berlin während des Jahres 1845 in einem hiesigen Tageblatte anzuführen (*Berlinische Zeitung von Staats- und gelehrten Sachen. Im Verlage Vossischer Erben.* Vom 17. Januar 1846): »... Hr. du Bois-Reymond las über unipolare Inductionszuckungen, welche an einem Ende eines offenen Inductionskreises entstehen, »wenn dieses oder das andere Ende mit der Erde in Verbindung steht.«

## Drittes Kapitel.

### Von der elektrochemischen Methode.

Zwar läfst sich für die Stärke von Strömen, welche durch elektrochemische Zersetzung erkannt werden sollen, genau genommen, keine Grenze setzen. Denn da die Gröfse derselben dem Producte aus der Dauer in die Stärke der Ströme proportional ist, und man sich heutigentages so gut wie berechtigt sieht anzunehmen, dafs Leiter, welche beim Durchgang des Stromes zersetzt werden, denselben in der That auch niemals leiten, ohne zersetzt zu werden, so folgt, dafs es, um endlich doch wahrnehmbare Mengen der Zersetzungsstoffe aufsammeln zu können, auch bei den schwächsten Strömen, nur nöthig sein wird, sich eine hinreichende Zeit in Geduld zu fassen. So fruchtbar nun auch Becquerel dieses Princip in der Geschichte der anorganischen Erdrinde erscheinen lassen möchte, so übel angebracht würde es bei den so höchst vergänglichen thierisch-elektrischen Strömen sein.

Dazu kommt, dafs hier wieder die Nothwendigkeit des Einschaltens von Metallen in den Kreis der freien Anwendung des Verfahrens hemmend in den Weg tritt. Zwar hat Matteucci folgende auffallende Behauptung aufgestellt. Vom Froschstrome sprechend sagt er: »J'ai »fait traverser à ce courant une couche d'eau salée longue d'un déci»mètre, sans appercevoir un affaiblissement sensible; ce courant est, »par conséquent, capable d'une action électro-chimique.« Die Bündigkeit dieses Schlusses sieht man nicht ein. Aus der angeführten Thatsache folgt nur, dafs der Widerstand der Schicht Salzlösung gegen den des Frosches und der übrigen Kettentheile verschwand. Um aus der blofsen Fähigkeit, durch Flüssigkeiten geleitet zu werden, auf seine Fähigkeit, sie zu zersetzen, zu schliefsen, brauchte Matteucci bei einem hydroëlektrischen Strome κατ' ἐξοχήν, wie dem Froschstrome, keine Schicht feuchten Leiters einzuschalten. »Sans donner aucune impor»tance à ce fait en lui-même, je tiens à le faire remarquer, comme le

»seul qui puisse nous conduire à déterminer la marche du courant »lorsqu'on replie la jambe sur son propre nerf, cas dans lequel nous »fermons le circuit sans le galvanomètre.« Matteucci selbst hat indefs auf der vorhergehenden Seite durch das Gesetz der Zuckungen ohne Einschaltung des Multiplicators die Strömungsrichtung zu bestimmen gewufst (S. oben S. 397). »Je prends un morceau de papier joseph »imbibé d'une solution de jodure de potassium, et j'en couvre le ten»don d'une jambe d'une grenouille très-vivace et récemment préparée. »Je replie la jambe sur le nerf, et je produis une suite de passages »et, par conséquent, de contractions. Après quelques secondes, je vois »la couleur jaunâtre apparaître sur les filets nerveux. C'est donc du »nerf que le courant sort pour entrer dans le muscle au point de »leur contact. On peut s'assurer très-aisément qu'aucune coloration »n'apparaît sur le nerf d'autres grenouilles également préparées par la »simple immersion dans le jodure de potassium.« [1] Valentin will diesen Versuch mit Erfolg wiederholt haben (S. oben S. 152). Man sieht nicht ein, wozu dabei die Kette abwechselnd geöffnet und geschlossen wurde, da, wie bemerkt, die Gröfse der Elektrolyse dem Producte aus Dauer und Stärke des Stromes proportional ist und von einer elektromotorischen Wirkung der Muskelzusammenziehung bei Matteucci sonst die Rede nicht ist.

Wie sich die Elektrolyse in Ketten nur aus flüssigen Leitern verhalten würde, vermögen wir nicht zu ermessen und ist noch nicht durch den Versuch ermittelt. Für unsere Zwecke genügt es, zu wissen, dafs die organischen Gebilde in diesem Bezuge sich den Flüssigkeiten gegenüber nicht völlig als gleichfalls flüssige Körper verhalten, sondern bis zu einem gewissen Grade den Metallen und der Kohle ähnlich, wie aus Peltier's Entdeckung der Polarisationserscheinungen an thierischen Gliedern hervorgeht, und ich durch Nachweisung der Zersetzungsstoffe, Säure und Alkali, an den Grenzen derselben weiter erläutert zu haben glaube (S. oben S. 376). Inwiefern dieses Verhalten sich an das Stocken der Ueberführungsvorgänge in manchen Davy'schen und Faraday'schen Versuchen [2] anknüpfen lassen möchte, bleibt hier unerörtert; es ergiebt sich daraus die Möglichkeit, dafs in der That in thierisch-elektrischen Ketten Ionen sich an der Grenze der Muskeln und Nerven, wie an Metallen, ausscheiden können. Unzweifelhaft ist

[1] Essai etc. p. 78. 79. — Vergl. oben S. 120.

[2] Einen anderen merkwürdigen Fall von Ausscheidung der Zersetzungsstoffe des Wassers an den Grenzen einer in eine capillare Spalte eingeschlossenen sehr dünnen Flüssigkeitsschicht hat v. Grotthuss beobachtet. S. Schweigger's Neues Journal der Chemie und Physik. 1820. Bd. XXVIII. S. 315.

mir andererseits, dafs, wenn dies für die jodhaltige Jodwasserstoffsäure in MATTEUCCI's Versuch wirklich der Fall war, dasselbe wenigstens nicht unter allen Umständen stattfinde; denn ich habe bereits vor langer Zeit einmal beim Schliefsen einer GROVE'schen Kette durch Jodkaliumlösung und einen stromprüfenden Froschschenkel, dessen Nerv am positiven Pol auflag, die schwarze Färbung an der Berührungsstelle von Nerv und Platin erscheinen sehen. Leider habe ich mich damals zu überzeugen versäumt, ob der Nerv, nachdem er dem elektronegativen Stoffe den Durchgang verstattet hatte, noch fähig war, Zuckung in den zugehörigen Muskeln zu erregen. FABRÉ-PALAPRAT hat übrigens ähnliche Versuche, gleichfalls mit Jodkalium, am lebenden Menschen angestellt, wobei er heilkünstlerische Zwecke im Auge hielt.[1]

Aber auch den bestimmten, von MATTEUCCI angekündigten Erfolg selbst habe ich nicht zu Wege bringen können. Ich bediente mich nicht nur eines, sondern mehrerer thierischen Elektromotore, welche nach dem Bilde der Säule angeordnet waren, und nicht des einfachen Jodkaliums, sondern eines durch gleich zu erwähnende Mittel höchst empfindlich gemachten Jodkaliumstärkebreies. Nie sah ich eine Spur von Zersetzung erscheinen, die mir hingegen nicht versagte, wenn ich metallische Elektroden zwischen die Enden der thierischen Kette und den Elektrolyten einschaltete. Ich vermuthe daher, dafs MATTEUCCI sich durch Blutflecke hat in die Irre führen lassen, welche, unter dem Einflusse der Jodkaliumlösung, täuschend dasselbe Ansehen annehmen, als ob an der betreffenden Stelle eben die Zersetzung begönne, und es scheint auch, als habe er selbst das Vertrauen zu seinem Versuche verloren, da er desselben im *Traité etc.* nicht mehr Erwähnung thut.

Es ist sehr zu bezweifeln, dafs die Einschaltung von Metallen in die thierisch-elektrischen Ketten zu entbehren sein möchte, wo es darauf ankommt, entschiedene Zersetzungserscheinungen wahrzunehmen. Es handelt sich also hier, wie beim elektromagnetischen Rheoskope, vor allen Dingen darum, diese Einschaltung so zu bewerkstelligen, dafs man von den Ungleichartigkeiten der Metalle nichts mehr zu befürchten habe. Es scheint auf den ersten Blick, als sei in diesem Falle die Sache noch insofern viel schlimmer als beim Multiplicator, als man zweier Paare metallischer, in Flüssigkeiten tauchender Enden bedarf, eines Paares nämlich, um den Strom der thierischen Gebilde aufzunehmen, des anderen, um dazwischen den zu zersetzenden Stoff einzuschalten. Indessen läfst sich dieser Uebelstand dadurch umgehen, dafs

[1] Seine eigene Arbeit ist mir unbekannt geblieben. Vergl. eine Notiz darüber in BECQUEREL's Traité expérimental etc. t. IV. p. 321.

man die zu elektrolysirende Flüssigkeit, gleich der Kochsalzlösung an der gewöhnlichen Vorrichtung S. 213, in zwei getrennte Massen vertheilt, in welche die durch einen metallischen Bogen, z. B. den Multiplicatordraht selbst, zum Kreise geschlossenen Platinenden tauchen; zwischen diesen Massen feuchten Leiters schliefst man mit dem thierischen Elektromotor, der sich aber so allerdings dem Durchgange der Ionen blofsgestellt findet. Diese letztere Einrichtung des Versuches hat noch aufserdem den erheblichen Vorzug, dafs nicht nur der Widerstand des Kreises weit geringer gemacht werden kann, als bei der ersteren, sondern dafs auch die doppelte Polarisation an den beiden Elektrodenpaaren vermieden wird, wodurch also die Stromstärke aufserordentlich viel gröfser ausfallen mufs als im anderen Falle.

Der am leichtesten ein sicheres Zeichen der Elektrolyse nebst deutlicher Bestimmung der Strömungsrichtung gewährende Stoff ist, wie Jedermann weifs, nach Faraday's Entdeckung [1] die Jodkaliumlösung, namentlich in Gestalt des Jodkaliumstärkebreies. Man reibt Stärkemehl mit der gesättigten Lösung des Salzes zu einem klaren Kleister von der Consistenz erstarrten Leimes an, schneidet zwei dünne Scheiben daraus, mit denen man die beiden Endpunkte der thierischen Kette bekleidet, und versenkt in dieselben die zuvor nach den oben S. 205 angegebenen Regeln sorgfältig gereinigten und ausgeglühten Platinelektroden, von deren zweckmäfsigster Einrichtung alsbald die Rede sein wird; oder, wenn man sich zweier Elektrodenpaare bedient, man stellt an dem Stärkebrei eine ebene klare Schnittfläche dar, und versenkt in dieselbe, möglichst nahe aneinander, die beiden stromzuführenden Platinenden, wobei die stromaufnehmenden begreiflich am besten die im ersten Kapitel dieses Abschnittes beschriebenen sein werden. Ich glaube gefunden zu haben, dafs der Jodkaliumstärkebrei noch an Empfindlichkeit gewinnt, wenn er bereits, unter dem Einflusse einer Spur von einer flüchtigen Säure, z. B. salpetriger Säure, die beim Gebrauch von Grove'schen Ketten in der Luft des Zimmers schwebt, einen merklichen Stich ins Gelbe angenommen hat. Wenigstens ist mir nur alsdann, und nicht in völlig farblosem Zustande, die Zersetzung desselben durch thierische Ketten gelungen. Man sieht leicht, dafs ich hierauf keinen entschiedenen Ausspruch gründen kann, da das Glücken des Versuches in der einen Reihe von Fällen sich auch, was jedoch nicht wahrscheinlich ist, von der gröfseren Stärke der Kette herleiten läfst.

Die Elektrode, aus welcher der Strom heraustreten, oder an der

[1] Experimental Researches in Electricity. (Collected from the Philosophical Transactions.) vol. I. London 1839. Series III. January 1833. p. 89. No. 316.

sich die jodhaltige Jodwasserstoffsäure ansammeln soll, mufs möglichst fein zugespitzt sein; da nämlich die Dichtigkeit des Stromes an derselben die Wahrnehmbarkeit des Zersetzungsproductes mehr begünstigen wird, als dieselbe durch seine Schwächung leiden kann, welche die Folge des solchergestalt verminderten Querschnittes ist. Die negative Elektrode hingegen mufs möglichst grofs gewählt werden. Ist die Richtung des Stromes noch unbekannt, und soll also die Elektrolyse zugleich zur Bestimmung derselben dienen, so müssen natürlich beide Elektroden zugespitzt sein. Eine zierliche und bequeme Vorrichtung, um zwei Platinspitzen leicht mit Jodkaliumpapier oder -Stärkebrei einerseits, andererseits mit einer beliebigen stromentwickelnden Anordnung verbinden zu können, was in vielen Fällen ein bequemes Mittel zur Bestimmung der Richtung des Stromes gewährt, hat Riess angegeben. [1]

Mit Hülfe dieser verschiedenen Kunstgriffe ist es mir denn erwähntermafsen wirklich gelungen, Zeichen von Elektrolyse von den thierischen Elektromotoren zu erwirken. Nach Entfernung der positiven Spitze aus dem Jodkaliumstärkebrei konnte ich unter der Lupe sehr deutlich die schwarze Färbung der Wände der Höhlung, worin sie steckte, gewahren. Auf diesen mikroskopischen Erfolg beschränkte sich freilich das Ergebnifs. Ich habe dasselbe bereits in meiner Abhandlung in Poggendorff's *Annalen u. s. w.* Januar 1843. Bd. LVIII. S. 3. §. 8 dargelegt. Es wird unten, bei Gelegenheit der von mir entdeckten einfacheren thierischen Elektromotore, die ich zu diesen Versuchen verwandte, noch mehr davon die Rede sein. [2] Matteucci hat seitdem, ohne seine frühere Aussage über angeblich ohne Metalle bewerkstelligte Elektrolyse zurückgenommen zu haben, und ohne meiner Erwähnung zu thun, dasselbe als etwas Neues bekannt gemacht. [3] Ich bediente mich zweier einzelner Muskeln vom Frosche; er hat zu einer Säule aus 20 halben Froschoberschenkeln [4] seine Zuflucht genommen, die in Gefäfse mit reinem Wasser (»fresh water«) auslief (S. oben S. 229); in diese tauchten die schraubenförmig aufgewundenen Enden zweier Platindrähte, deren beide andere Enden in einer Linie Entfernung von einander auf einen mit Jodkaliumlösung getränkten Papierstreifen aufgesetzt wurden. Matteucci fügt hinzu: »I am also in the habit of further wetting the »paper soaked with the solution of hydruret of potassium, with a

[1] Repertorium der Physik. Bd. VI. 1842. S. 306. Taf. II. Fig. 20.*

[2] S. unten, 3. Abschn., Kap. I. §. VIII.

[3] Comptes rendus etc. 14 Avril 1845. t. XX. p. 1096.* — Philosophical Transactions etc. For the year 1845. p. II, p. 285.* — Annales de Chimie et de Physique. Septembre 1846. 3. Série. t. XVIII. p. 109.*

[4] S. unten, 3. Abschn., Kap. II. §. IV.

»solution of starch paste, to which I add a few drops of chlorine«, unstreitig, um das Jod aus der freigewordenen Jodwasserstoffsäure auszutreiben.

Wie man aus dem Vorigen bereits hat ersehen können, haben sich elektrolytische, mit den thierisch-elektrischen Strömen angestellte Versuche vielmehr darauf zu beschränken, die Möglichkeit einer durch dieselben eingeleiteten Zersetzung zu erweisen, als dafs sie zur Erforschung des Daseins und der Richtung jener Ströme selbst sich anwenden liefsen. Insofern kommt denn auch ihr Werth in diesem Gebiete sehr tief zu stehen; denn da, wie bereits erinnert wurde, gute Gründe vorhanden sind, die Möglichkeit der Fortführung eines Stromes in einer zersetzbaren Flüssigkeit ohne wirkliche Zersetzung derselben zu bezweifeln, und überdies der Multiplicator bei jedem einzelnen Versuche Gelegenheit zur Beobachtung der Ladungen darbietet, welche nichts Anderes sind, als der Ausdruck der elektromotorischen Wechselwirkung der Zersetzungsstoffe (S. oben S. 236), so wird in der That durch jene Versuche nur wenig Neues beigebracht.

Indessen könnte es sein, dafs die elektrochemische Methode dennoch im Stande wäre, der thierischen Elektricität einen äufserst wichtigen Dienst zu leisten. Dies würde dann der Fall sein, wenn es glückte, dieselbe dergestalt in Anwendung zu bringen, dafs man dabei von ihrer wesentlichen Eigenthümlichkeit, der der Gewährung eines absoluten Mafses der Stromstärke (S. oben S. 199), Vortheil zöge. Es fragt sich, ob man bei Einschaltung eines oder mehrerer säulenartig angeordneten Elektromotore zwischen metallischen Enden, die in eine Salzlösung desselben Metalles tauchen, wobei also die Polarisation vermieden würde, wägbare Mengen eines galvanoplastischen Niederschlages erhalten würde. Ich mufs leider meine Befürchtung aussprechen, dafs dies nicht gelingen wird; das Ergebnifs des oben a. a. O. beschriebenen Versuchs, das Empfindlichkeitsäquivalent meines Multiplicators zu bestimmen, scheint in dieser Hinsicht nicht viel Hoffnung übrig zu lassen. Nichtsdestoweniger würde ein glücklicher Erfolg dieser Art hier von so erheblicher Wichtigkeit sein, dafs es sich unstreitig der Mühe verlohnen dürfte, eine genaue, auf diesen Punkt gerichtete Untersuchung anzustellen, zu der es mir jedoch bisher an der nöthigen Mufse gefehlt hat.

# Viertes Kapitel.

## Beschreibung einiger durchgängig gebrauchten Vorrichtungen.

Ich mache schliefslich den Leser mit einigen Vorrichtungen bekannt, welche bei thierisch-elektrischen Versuchen unentbehrlich sind, und deren Gebrauch daher im Folgenden fortwährend wiederkehrt. Einige derselben sind dem gewöhnlichen elektrischen Apparate entlehnt, und ich kann mich auf ihre Aufzählung und die Mittheilung ihrer Mafse beschränken; andere hingegen sind neu und eigends für diese Klasse von Versuchen bestimmt.

### §. I.

### Elektromotore.

1. Einfacher Bogen. Man braucht sehr häufig, wenn auch nur, um sich nach schwierigeren Zurichtungen von der Unverletztheit der Nerven zu überzeugen, einen leicht zu handhabenden ungleichartigen Metallbogen. Die von Poggendorff [1] erfundenen jetzt üblichen Schraubenklemmen zur Verbindung von Drähten gewähren in dieser Beziehung ein grofses Hülfsmittel, da man mittelst derselben in einem Augenblicke sich Bögen aus beliebigen Metallen, die man in Drahtform besitzt, zusammensetzen kann. Ich empfehle für den gewöhnlichen Gebrauch die Fig. 18. Taf. I. dargestellte Form. Der dickere Draht ist ein an der Spitze amalgamirter Zinkdraht, der dünnere Platindraht. Der Grundlinie des Dreieckes gebe ich 30$^{mm}$, jedem Schenkel

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1840. Bd. XLIX. S. 39.

70$^{mm}$ Länge. Es ist Volta's galvanischer Stangenzirkel [1] in abgeänderter Gestalt.

2. Stärkere Ketten. Unentbehrlich ist zu einer grofsen Anzahl wichtiger Versuche der Besitz einer Säule von beständiger Kraft. Da dieselbe nie anders gebraucht wird, als bei Einschaltung eines sehr bedeutenden Widerstandes, der thierischen Theile nämlich, so kann man sich der Grove'schen Einrichtung mit allem Vortheil und ohne die Nachtheile bedienen, die aus der Theurung des Platins und der Entwickelung der salpetrigsauren Dämpfe hervorgehen. Die letztere fällt fort, weil die Säule stets nur unvollkommen geschlossen wird, und was die erstere betrifft, so kann man sich, aus demselben Grunde, ohne dafs sich Wasserstoff entwickelte und die Beständigkeit des Stromes litte, mit einer sehr geringen Platinoberfläche begnügen. Meine Säule, aus zwölf Plattenpaaren, ist in den bekannten kleinen Wheatstone'schen Trögen angeordnet, welche nur etwa 20$^{mm}$ Durchmesser und 35$^{mm}$ Tiefe haben; die Porzellantröge, welche das Zink und die verdünnte Schwefelsäure enthalten, haben 55$^{mm}$ Durchmesser bei ungefähr derselben Tiefe. Jeder poröse Trog ist, in bekannter Weise, von einem amalgamirten Zinkcylinder umgeben, von dem ein im Bogen erst aufwärts gekrümmter Arm ausgeht, an welchen, wie bei Volta's corona di tasse, unmittelbar ein dünnes Platinblatt von 15$^{mm}$ Breite und 30$^{mm}$ Länge angelöthet ist. Das letzte Zink einerseits und das letzte Platin andererseits sind mit Drähten und Klemmschrauben versehen, mit deren Hülfe der Strom, wenn es gilt, ihm thierische Theile auszusetzen, bald der sogleich zu beschreibenden eigends dazu bestimmten Vorrichtung, bald zweien amalgamirten Zinkplatten zugeführt werden kann, die als Elektroden in zwei mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllte, durch die thierischen Glieder als feuchte Brücke zu verbindende Porzellantröge der eben bezeichneten Art tauchen. Dieses Verfahren ist uns schon aus der Untersuchung über die Peltier'schen Ladungen bekannt (S. oben S. 377). Positive Metalle als Elektroden zu nehmen, ist, wie man sich erinnert, vortheilhaft, so wie es nicht auf Gleichartigkeit ankommt, weil ihre Polarisation so äufserst viel geringer, als die der negativeren Metalle erscheint.

3. Inductionsvorrichtung. Die sehr ausgedehnte und wichtige Anwendung derselben wird gehörigen Ortes auseinandergesetzt werden. Es handelt sich darum, schnell aufeinanderfolgende Ströme von kurzer Dauer und abwechselnder Richtung in beliebiger Stärke zu erhalten.

[1] v. Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Bd. I. S. 73.

Dies leistet eine Inductionsrolle, in deren erregenden Kreis ein Elektromotor von beständiger Kraft eingeschaltet ist, dessen Strom mit Hülfe eines Blitzrades unterbrochen wird. Die innere Rolle meiner Vorrichtung ist durch ein Papprohr von 313$^{mm}$ Länge und 65$^{mm}$ Durchmesser gebildet, auf welches ein 2$^{mm}$ dicker Kupferdraht in 32 Windungen aufgewickelt ist; die äufsere, etwas kürzere auf diese aufgeschobene Rolle trägt 3220 Windungen eines 799$^{m}$ langen Kupferdrahtes, wovon eine 150$^{m}$ lange Strecke 0.24$^{mm}$ Durchmesser hat, der übrige Theil, der aber mit Silber plattirt ist, nur 0.16$^{mm}$.[1] Zur Aufnahme in die innere Rolle zur beliebigen Verstärkung der Schläge sind ungefähr 4.5$^{kr}$ sorgfältig gefirnifster Eisendrähte von der Länge der Rolle und 1.7$^{mm}$ Durchmesser bestimmt.

Behufs der Erzeugung des primären Stromes in einer Inductionsvorrichtung sind die oben beschriebenen kleinen Elemente untauglich. Hiezu dienten Grove'sche Ketten von der Arbeit des Hrn. Kleiner in gewöhnlicher Gröfse und Gestalt, an denen die benetzte Platinoberfläche etwa 85 Quadratcentimeter beträgt.

## §. II.

## Unterbrechungsrad und Stromwender.

Unterbrochen ward der primäre Strom mit Hülfe eines Poggendorff'schen Inversors,[2] von der Arbeit des Hrn. Kleiner, an dem die Verbindungen alsdann so angebracht waren, dafs er einfach unterbrach, nicht umkehrte. Bei voller Kraft eines Grove'schen Elementes wurden

[1] Obschon die absoluten Leistungen dieser Inductionsvorrichtung sehr bedeutend waren, so darf ich für diejenigen, die sich, gleich mir, eine solche selbst anzufertigen gesonnen wären, doch nicht unerwähnt lassen, dafs dieselbe den Erwartungen, die ich davon hegen zu dürfen glaubte, nur unvollkommen entsprach. Es zeigte sich nämlich, dafs die physiologische Wirkung der äufseren Rolle derjenigen einer der beiden Spiralen merklich nachstand, welche Hr. Prof. Dove in seinen Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität S. 14* beschrieben hat; diese haben einen 400 Fufs langen, ¹/₄ Linie dicken, mit Seide umsponnenen Kupferdraht. Die Prüfung geschah, indem abwechselnd die eine und die andere Rolle auf eine und dieselbe mit gefirnifsten Drähten angefüllte Rolle aufgeschoben wurde, welche in den Kreis der ebendas. S. 39 beschriebenen Saxton'schen Maschine von der Arbeit des Hrn. Oertling eingeschaltet war.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1838. Bd. XLV. S. 385.*

die Schläge bei etwa 2$^{ter}$ Drahteinlage in die Rolle bereits durchaus unerträglich.

In mehreren Fällen ward auch der Inversor gebraucht, um einen primären Strom in thierischen Theilen zugleich zu unterbrechen und umzukehren. Er hat 20 Unterbrechungen, welche zwar von gleicher Breite mit den metallischen Einsätzen des Randes sind, jedoch, wegen der Breite der Flächen, mit denen die Federn an dem Umfang des Rades schleifen, den Strom stets nur während 0.087 der Dauer des Durchganges eines leitenden und eines isolirenden Zahnes unter der Feder vollständig aufheben. Die gröfste Umdrehungsgeschwindigkeit, die sich dem Rade ertheilen läfst, ist 2.5 Umdrehungen in der Secunde. Die Dauer des Stromes ist alsdann 0.0182″, die der Unterbrechung 0.0017″.

Aufser dem Unterbrechungsrade ist sehr häufig ein Stromwender angewandt worden, um die Richtung von Strömen in den durchkreisten thierischen Theilen plötzlich umkehren zu können. Ich bediente mich dazu des bekannten Pohl'schen Gyrotropen,[1] einer Holzplatte mit sechs in einen Kreis gestellten und mit Quecksilber gefüllten Vertiefungen, wovon vier übers Kreuz durch einander nicht berührende Drähte in Verbindung sind, während die beiden anderen einer Wippe zum Stützpunkte dienen, durch deren Umlegen die Verbindungen verwechselt werden. Ich hatte den Gefäfsen, zur sicheren Befestigung von Aufsen kommender Drähte, noch Schraubenklemmen hinzugefügt.

---

## §. III.

## Der allgemeine Träger.

So nenne ich ein Stativ, welches im Laufe der Versuche fortwährend bald dieser, bald jener Vorrichtung zur Stütze dienend erscheint. Es besteht einfach aus einem Fufsbrett von der Gestalt und Gröfse derjenigen, auf denen die Zuleitungsgefäfse des Multiplicators stehen; der Stabilität wegen ist dasselbe jedoch hier mit Blei ausgegossen, und an seinem hinteren geraden Ende mit einem Schnitt versehen, so dafs es mittelst einer Platte und einer Holzschraube an einem

[1] Kastner's Archiv für die gesammte Naturlehre. 1828. Bd. XIV. S. 49. * — Fechner's Elementar-Lehrbuch des Elektromagnetismus. Leipzig 1830. S. 150. Fig. 75. 76. *

beliebigen Punkte des Arbeitstisches unverrückbar festgeschraubt werden kann. Die obere Fläche ist natürlich ohne die kreisförmige Vertiefung welche dort zur Aufnahme des Zuleitungsgefäfses dient. Statt dessen erhebt sich auf ihr in dem Mittelpunkte des das vordere Ende des Fufsbrettes begrenzenden Kreisabschnittes eine senkrechte Messingsäule von 176$^{mm}$ Höhe und 8$^{mm}$ Durchmesser, an welcher verschiedene Vorrichtungen mittelst Hülsen und Klemmschrauben auf- und niedergestellt, hin und her gedreht und in jeder beliebigen Lage befestigt werden können. Man wird wohl thun, für gewisse verwickeltere Versuche, die wir später kennen lernen werden, wenigstens zwei dergleichen Träger zu besitzen. Der eine derselben kann dann zugleich dazu bestimmt sein, die bald zu beschreibende Vorrichtung zur Befestigung des lebenden Frosches zu unterstützen. Dazu ist jedoch nothwendig, dafs er mit einem Fufsbrett von besonderer Schwere versehen sei.

Fig. 19 Taf. III. zeigt den allgemeinen Träger mit zwei Klemmen für Glasplatten belastet, welche in dem Folgenden sehr häufig Anwendung finden werden. Die untere derselben ist geeignet, eine Platte in wagerechter Lage zu erhalten, wobei ihr eine drehende Bewegung um die senkrechte Axe *aa'* übrig bleibt. Die obere gestattet, vermöge des daran sichtbaren Kugelgelenkes, der darin eingespannten länglich viereckten Glasplatte von 100$^{mm}$ Länge und 15$^{mm}$ Breite jede mögliche Stellung im Raume anzunehmen. Diese ist bestimmt, den stromprüfenden Schenkel mit seinem Nerven zu tragen, der solchergestalt am leichtesten einem beliebigen Punkte einer verwickelten und ausgedehnten experimentellen Anordnung zugeführt werden kann. Er wird an der Platte, wie die Figur zeigt und schon oben S. 255 angedeutet wurde, mittelst dreier Fäden festgebunden, die unterhalb derselben mit Kitt befestigt, und oberhalb des Schenkels in einen Weberknoten verschlungen sind. Der eine Faden kommt in die Kniekehle, der andere am Fufsgelenk, der dritte am Mittelfufszehengelenk zu liegen. Die grofse Länge der Glasplatte hat zum Zweck, dafs der Unterschenkel beim Strecken der Zehen nicht das Metall der Klemme erreichen könne, da es vorkommen kann, dafs man ihn, z. B. der unipolaren Inductionszuckungen wegen, auf das vollkommenste isolirt zu haben wünscht. Die Zuschärfung derselben an ihrem vorderen Ende bietet einen besonderen, erst später zu würdigenden Vortheil dar. In die untere wagrechte Klemme eingespannt, dient die Platte, von der man auch wohl thun wird, zwei Exemplare zu besitzen, verschiedenen Zwecken, unter anderen aber, einen Zwischenbausch zu tragen, der daran, in derselben Weise, wie dies eben vom stromprüfenden Schenkel beschrieben wurde, mittelst Fäden festgebunden wird. S. oben S. 223.

Die Messingarme, welche in die Klemmen enden, haben an meinem Apparat 75$^{mm}$ Länge von einer Drehungsaxe zur andern. Von den übrigen Mafsen ist keines wesentlich.

Die Vorrichtung war von den Herren Böttcher und Halske nach meinen Angaben ausgeführt worden.

---

## §. IV.

## Stromzuführende Vorrichtung für thierisch-elektrische Versuche.

Folgende Vorrichtung hat zum Zweck, dem Nerven eines irgendwo aufliegenden Muskels oder stromprüfenden Schenkels den Strom eines beliebigen Elektromotors unter sehr verschiedenen Umständen der Lage u. s. w. zuführen, ja dasselbe nöthigenfalls für zwei Ströme auf einmal leisten zu können.

An der Säule des allgemeinen Trägers (S. Fig. 20 Taf. II) gleitet ein wagrechter Arm von 65$^{mm}$ Länge und entsprechender Stärke auf und nieder und kann in beliebiger Höhe festgestellt werden. An seinem freien Ende trägt er mittelst eines Kugelgelenkes, dessen breiter Schraubenkopf ein kräftiges Anziehen gestattet, ein zweites Glied, welches aufwärts gebogen in einen, das untere verjüngte Ende eines sonst vierseitig prismatischen Elfenbeinklotzes umfassenden, gabelförmigen Theil ausläuft. Dieser Klotz hat in seinem oberen prismatischen Theile 25$^{mm}$ Länge, 18$^{mm}$ Breite und 12$^{mm}$ Stärke; in das untere Drittheil seiner vorderen Fläche ist eine Rinne geschnitten und in dieselbe eine 57$^{mm}$ lange, mit dem Klotze gleiche Breite habende Glasplatte eingekittet. Da dieselbe vorn dünn sein und doch hinlängliche Festigkeit darbieten mufste, so ist sie an ihrer unteren Fläche nach vorn und oben zu schräg abgeschliffen. Die beiden oberen Drittheile des Elfenbeinklotzes werden von vier Durchbohrungen eingenommen, welche mit Messinghülsen ausgefuttert und mit Klemmschrauben versehen sind. In denselben verschieben sich vier Messingdrähte, welche über der Glasplatte in Platinenden auslaufen, die weiter unten genauer beschrieben werden sollen. Die hinteren Enden der Drähte tragen Köpfchen mit Klemmschrauben, wodurch also die Enden zweier Ketten auf einmal und von einander getrennt mit den Platinenden in Verbindung gesetzt werden können. Da jedoch diese nebst dem ganzen zweiten Gliede

diesseits des Kugelgelenkes häufig einer sehr zarten Einstellung bedürfen, welche durch das Gewicht und die Federkraft langer Zuleitungsdrähte oder durch Zerrung an denselben leicht hätte gestört werden können, so sind in einen den Körper der Hülse, vermöge der sich das erste Glied an der senkrechten Stange des Trägers auf und nieder schiebt, umgebenden Hornring vier andere Klemmschrauben eingelassen, in welche die Drähte der Ketten unmittelbar eingespannt werden, um von da aus erst mittelst vier anderer, kurzer und leichter und keiner Zerrung ausgesetzter Drahtenden mit dem zweiten Gliede in Verbindung zu treten. Die zusammengehörigen Drähte sind paarweise zusammengeflochten, um der unmittelbaren Einwirkung des Stromes in denselben auf die Nadel, falls in ihrer Nähe gearbeitet wird, vorzubeugen, und, um die Richtung des Stromes in denselben nichtsdestoweniger mit Geschwindigkeit übersehen zu können, mit Seide von verschiedener Farbe übersponnen. Um die Platinenden und die Glasplatte zu vereinigen, entfernt man die dicken Drähte aus den Hülsen, nachdem man die Köpfchen abgeschraubt hat.

Die Platinenden nun sind bestimmt, den Nerven des Muskels oder des stromprüfenden Schenkels, der zum Zucken vermocht werden soll, zu empfangen und ihm den Strom zuzuführen. Die Figur zeigt einen auf den Bäuschen aufliegenden M. gastroknemius vom Frosch, der mit seinem Nerven frei herauspräparirt worden ist und jetzt, wie wir später erfahren werden, auf elektrischem Wege in Tetanus versetzt werden soll. Der Platinenden sind vier, weil es eben nützlich sein kann, zwei Ströme zu gleicher Zeit bei der Hand zu haben oder auch die Erregung bald auf diese, bald auf jene Stelle des Nerven einwirken zu lassen, was in der Folge deutlicher werden wird. Je zwei dieser Enden befinden sich in einer und derselben Ebene über der Glasplatte und bilden ein Paar; die einem solchen Paare verliehene in Fig. 21 Taf. II sichtbare eigenthümliche Gestalt hat zum Zweck, sowohl einen nur sehr kurzen, als auch einen viel längeren Nervenstamm auflegen zu können, ohne in dem letzteren Falle durch Verkleinerung der Berührungsflächen zwischen Nerv und Platin den Strom allzusehr zu schwächen. Das Auflegen des kurzen Nerven, einer Wurzel z. B., geschieht nämlich, wie die Figur es vorstellt, wenn die beiden Platten einander möglichst nahe gebracht sind, ohne dafs sie sich jedoch berühren, an der Stelle, wo die vorderste derselben spitz ausläuft; hat man dagegen ein längeres Nervenende zu Gebot, so steht es frei, die Platten um fast die ganze Länge der Glastafel von einander zu entfernen und den Nerven schräg über die Stellen ihrer gröfsten Breite zu lagern.

Platin ist als zuleitendes Metall hier gewählt worden, obschon es nicht auf vollkommene Gleichartigkeit ankam und dasselbe durch seine grofse Ladungsfähigkeit alle Arten von Strömen vorzugsweise schwächt und unbeständig macht, weil es den erheblichen Vortheil der Reinlichkeit und einer stets zuverlässigen metallischen Oberfläche darbot und man auch um hinlängliche Verstärkung der Ströme selten verlegen sein dürfte, während auf der anderen Seite auch an ihrer Beständigkeit zunächst nicht viel gelegen zu sein schien. Indessen werden wir später eine Versuchsreihe kennen lernen, bei welcher uns die bezeichneten Eigenschaften dieses Metalles doch sehr beschwerlich fallen werden und zu deren tadelloser Ausführung die Enden aus Zink oder wenigstens Zinn gewählt sein müfsten. [1]

Die Platinenden sind aus starkem Blech geschnitten und mit Silber in einen Spalt am Ende der Drähte eingelöthet. Diese sind dergestalt gebogen, dafs, wie bemerkt, je zwei zusammengehörige Platinenden in einer Ebene, die beiden unteren dicht über der Glasplatte, die beiden oberen dicht über den unteren schwebend gehalten werden und aufserdem so, dafs, wie gleichfalls schon bemerkt wurde, diese Enden einander sowohl möglichst nahe als auch in jeden in den Bereich der Länge eines gewöhnlichen Froschischiadicus fallenden Abstand von einander gerückt werden können.

Die Glasplatte verhindert dieselben, mit den Bäuschen der Zuleitungsgefäfse (S. oben S. 221) unmittelbar in Berührung zu kommen, deren Gebrauch meist mit dem dieser Vorrichtung zusammenfällt. Dies könnte nämlich leicht ein Hereinbrechen des Stromes in den Multiplicatorkreis zur Folge haben. Dünner mufste die Platte an ihrem vorderen Ende sein, um nicht in solchen Fällen hinderlich zu werden, wo man bei sehr geringer Nervenlänge die unteren Platinenden möglichst nahe an die Bäusche zu bringen wünscht.

In Betreff der näheren Einsicht in diese mannigfachen Vortheile mufs ich schliefslich abermals auf die mit der Vorrichtung anzustellenden zahlreichen Versuche selbst verweisen. Dieselbe ist von den Herren Böttcher und Halske nach meiner Angabe sehr zierlich ausgeführt worden.

[1] S. unten, 3. Abschn., Kap. VII. §. II.

## §. V.

## Vorrichtung zur Befestigung des lebenden Frosches.

Die Untersuchung der elektromotorischen Wirkungen des unversehrten lebenden Frosches wird für uns ein um so wichtigerer Punkt sein, als sie bisher von unsern Vorgängern völlig vernachlässigt worden ist. Zwar hat MATTEUCCI einige Versuche an lebend präparirten Fröschen angestellt, allein auch hier wird sich für uns noch sehr viel zu thun finden. Die erste Bedingung dieser Versuche ist stets die, den Frosch unbeweglich zu machen. Die Fig. 22 Taf. IV, Fig. 23. 24 Taf. III abgebildete Vorrichtung leistet dies in einer Weise, welche nicht nur in Bezug auf die Befestigung selbst, sondern auch auf die alsdann stattfindende Zugänglichkeit behufs verschiedener Zwecke wenig zu wünschen übrig läfst. Sie wurde von den Herren BÖTTICHER und HALSKE nach meiner Angabe ausgeführt.

Als Träger derselben dient das bereits erwähnte, dem vorigen ähnliche, nur weit schwerere Stativ, welches gleichfalls, mit Hülfe einer Schraube, unverrückbar auf dem Arbeitstische befestigt werden kann. An der senkrechten Stange desselben gleitet (S. den Grundrifs Fig. 22, *s*) ein parallelepipedischer, dreifach durchbohrter Messingklotz auf und nieder und kann an jeder beliebigen Stelle festgeschraubt werden. Seine zweite, wagrechte Durchbohrung dient einem conischen Zapfen *zz'* zur Hülse, dessen anderes Ende in den hölzernen Rahmen eingelassen und in *z* durch eine Mutter befestigt ist. Der Zapfen ist mit einer Nuthe *n* versehen, welche der dritten, wieder senkrechten, engeren Durchbohrung des Klotzes zur Hälfte entspricht, so dafs ein in diese Durchbohrung eingeführter Stift, dessen Kopf sich in der Abbildung mit *kn* bezeichnet findet, den Zapfen beim Gebrauch der Vorrichtung in der Hülse zurückhält. Eine starke, zwischen der dem Rahmen zugekehrten Fläche des Klotzes und dem ringförmigen Vorsprunge des Zapfens, der der Mutter in *z* zum Widerhalte dient, angebrachte Feder aus geschlagenem Messing erschwert dabei hinreichend die Drehung des Rahmens um seine wagrechte Axe durch die zwischen dem Stifte und der hintern Wand der Nuthe erzeugte Reibung. Diese vom Künstler gewählte Anordnung hat den Zweck, der bei Anwendung irgendwelcher Schraubenvorrichtung weit unvollkommener erreicht worden wäre, den Rahmen, nachdem der Frosch darauf festgebunden und eine beliebige Präparation an diesem vollzogen worden ist, in möglichster Eile, wie dieses sehr häufig nothwendig ist, in seine Stellung am Träger bringen zu können.

Dieselbe Figur, welche im Maſsstabe von 0.5 ausgeführt ist, giebt ein Bild von der Befestigungsweise des Frosches; die dazu dienenden Schlingen übersieht man ferner in der perspectivischen Ansicht des am Träger befindlichen nackten Rahmens Fig. 23. Der ursprüngliche Gedanke war der auf der Hand liegende, das Thier einfach an beiden Oberarmen und Fuſsgelenken mittelst Schlingen zu befestigen, die durch Löcher in einem Brette geführt und unterhalb desselben angezogen wären. Für die beiden Fuſsschlingen war ein Loch genügend. Es zeigte sich jedoch wünschenswerth, daſs die Beine des Thieres dabei möglichst frei durch die Luft gingen, theils wegen daran vorzunehmender Zurichtungen, theils in Bezug auf Isolation. Bei der freien Ausspannung des ganzen Frosches aber zwischen den beiden kurzen Seiten eines länglich viereckigen Rahmens ergaben sich mehrere Uebelstände. Erstens konnte man sich dem Thiere mit den Zuleitungsgefäſsen in einzelnen Fällen nicht hinreichend nähern; zweitens hing der Frosch an seinen Fesseln nach unten bogenförmig tief herab, was einestheils eine unnöthige Belästigung desselben war, anderntheils ihm einen zu groſsen Spielraum für die Bewegungen des Rumpfes übrig lieſs. Hieraus entstand die Gestalt des Rahmens, wie sie aus den Abbildungen deutlich wird; die eine Seite des Frosches ist völlig zugänglich, und er findet sich von unten her bis zur Beckengegend noch durch den in Fig. 22 mit *aa'* bezeichneten Vorsprung gestützt. Allein auch jetzt blieb ihm noch die Möglichkeit heftigen seitlichen Windens in seiner Befestigung; diesem vorzubeugen, dienen die durch die drei Löcher in dem Bauchbrett *aa'* geführten Schnüre. Die quere unter denselben wird über das Kreuz des Frosches, die beiden andern jede über einen Schenkel desselben gezogen. Auf diese Weise läſst sich bereits eine so völlige Unbeweglichkeit desselben erzielen, daſs man, wenn die Länge des Frosches zur Länge des Rahmens paſst, denselben durch Strychnin oder auf elektrischem Wege in den heftigsten Tetanus versetzen kann, ohne daſs man eine andere Bewegung an ihm wahrnehme, als die dadurch bedingte Gestaltveränderung der einzelnen Gliedmaſsen, die Bewegung des Kopfes und der Füſse. Auch diese letztere muſste, behufs vieler Versuche, noch fortgeschafft werden. Dazu dienen die beiden Vorsprünge an der hinteren Seite des Rahmens. Die Füſse kommen zwischen sie zu liegen, und Umwickelung der Vorsprünge mit einem Faden reicht hin, auch ihrer Beweglichkeit vollkommen das gewünschte Ende zu machen. Seit einiger Zeit bediene ich mich hiezu jedoch mit vielem Vortheil der kürzlich uns aus England zugekommenen Ringe aus sogenanntem vulcanisirten Kautschuk (Patent elastic bands). Der erhabene Rand an der äuſseren Seite des Frosches ist dazu da, das

manchmal sehr genäherte Zuleitungsgefäfs von nicht beabsichtigten Berührungen mit dem Bauch oder der Hand des Frosches frei zu halten. Die unteren Enden der Schlingen sind wie die Saiten einer Geige an den an der unteren Seite des Rahmens in Fig. 23 sichtbaren Wirbeln aufgerollt und können auf diese Weise nach Belieben erschlafft und angespannt werden.

Der Rahmen ist aus möglichst trocknem (altem Mahagony-) Holze geschnitzt und vielfach mit Bernsteinlack lackirt, so dafs man nicht annehmen kann, dafs derselbe je eine Nebenschliefsung für die schwachen, möglicherweise im Frosch verlaufenden Ströme bilde. Den Zapfen ausgenommen, an dem er um seine wagrechte Queraxe drehbar ist, befindet sich kein Metallstück an ihm. Die Fesseln sind seidene Schnüre, stark genug um nicht einzuschneiden, und doch auch wieder dünn genug, um sich willig in Krümmungen von kleinem Halbmesser zu begeben.

Der Rahmen pafst, wie schon angedeutet ist, vollkommen begreiflich nur für Frösche von einer bestimmten Gröfse; indessen findet doch in dieser Hinsicht, bis zur völligen Unbrauchbarkeit, ein sehr beträchtlicher Spielraum statt. Aufserdem sind die Mafse so gewählt, dafs sie der am häufigsten vorkommenden Gröfse von R. esculenta entsprechen. Es beträgt nämlich der Abstand des Fufsloches von der Mitte des Abstandes beider Armlöcher von einander 110$^{mm}$; dieser Abstand selbst 43$^{mm}$; der Abstand des Fufsloches von dem hinteren Loche des Bauchbrettes 48$^{mm}$; von der Mitte des Abstandes beider vorderen Löcher des Bauchbrettes von einander 65$^{mm}$; dieser Abstand selbst endlich 23$^{mm}$; alle Abstände vom Mittelpunkte der Löcher aus gerechnet. Die Armlöcher und die Löcher des Bauchbrettes haben 4$^{mm}$, das Fufsloch 5$^{mm}$ Durchmesser; ihre Wände sind innerhalb gleichfalls sorgfältig mit Bernsteinlack gefirnifst. Der Abstand der beiden Vorsprünge zu beiden Seiten der Fufsgelenke von einander ist 10$^{mm}$, ihre Länge vom Mittelpunkte des Fufsloches aus 30$^{mm}$. Die Höhe des Randes an der äufseren Seite des Frosches beträgt erst 10$^{mm}$; er erstreckt sich bis zu den vorderen Löchern des Bauchbrettes; in den letzten 20$^{mm}$ seiner Länge ist er jedoch nur noch 6$^{mm}$ hoch. Die übrigen Mafse sind unwesentlich. Von Wichtigkeit ist dagegen die bereits aus der Vergleichung des Grundrisses Fig. 22 mit der perspectivischen Ansicht Fig. 23, am deutlichsten aber aus Fig. 24 erhellende Abschrägung der hinteren Wand des Rahmens, an der die Vorsprünge für die Befestigung der Füfse befindlich sind. Sie hat zum Zweck, der vorderen Wand des Zuleitungsgefäfses besser Raum zu geben, wenn der Frosch, bei etwas geneigter Lage des Rahmens, mit den Füfsen zwischen den Vorsprüngen in die Flüssigkeit desselben getaucht wird. Dieser Umstand sowohl, als mehrere andere beim

Gebrauch der Vorrichtung hervortretende Punkte, werden sich aus der Darlegung der zahlreichen damit angestellten Versuche in der Folge am besten ergeben.

---

## §. VI.

## Stromzuführende Klemmen, an den lebenden Frosch anzulegen.

Nicht selten wird sich, im Laufe unserer Untersuchungen, und gerade bei der Anwendung der eben beschriebenen Vorrichtung, das Bedürfnifs einstellen, dem Rückenmarke des lebenden Frosches einen Strom zuführen zu können, um dadurch bestimmte beabsichtigte Wirkungen auf die hinteren Glieder desselben zu Wege zu bringen. Dieser Strom mufs sowohl dauernd in Thätigkeit erhalten, als in schnell wiederkehrende regelmäfsige Wellen versetzt werden können; er mufs in jeder Hinsicht eine völlige Beherrschung gestatten. An das Anlegen zweier stromzuführenden Drahtenden oder Platten aus freier Hand ist bei den in Rede stehenden Versuchen nicht zu denken.

Ich hatte diese Aufgabe zuerst auf folgende Weise gelöst: Nach hinten und innen von jedem Trommelfelle des Frosches, und hinterwärts zu beiden Seiten der letzten Rückenwirbel, wurde ein Längsschnitt in der Haut von ungefähr $10^{mm}$ Länge angebracht und durch die einander entsprechenden Schlitze ein Streifen Blattkupfer, wie es zu organischen Analysen gebraucht wird, von $8^{mm}$ Breite und $150^{mm}$ Länge gezogen. Die beiden Enden eines jeden Streifens wurden oberhalb des Thieres in Poggendorff'sche Blechklemmen zusammengefafst, die durch eine passende Vorrichtung gestützt waren, und von denen aus Drähte zu den elektromotorischen Vorrichtungen gingen.

Diese Anordnung entsprach in der That ihrem Zweck vollkommen, und leistete mir lange vortreffliche Dienste; indessen führte sie einen Uebelstand mit sich, auf dessen Beseitigung bedacht zu sein ich nicht unterlassen durfte. Man erinnert sich, wie unerträglich der elektrische Strom dauernd auch in der geringsten Verletzung schmerzt; die Qualen, denen solchergestalt die Frösche in meinen Versuchen unterlagen, mufsten ungeheuer sein, und ihr Benehmen dabei, ein gräfsliches Winden und Girren, legte davon ein nur zu sprechendes Zeugnifs ab. Abgesehen hievon war es wünschenswerth, den Vorgang von dieser ungehörigen Nebenwirkung frei zu erhalten, und auch die Thiere, nach beendigtem Versuch, für anderweitige Zwecke in gutem Stande auf-

heben zu können. Dies ward endlich durch folgende Vorrichtung ins Werk gesetzt.

Fig. 25 Taf. III zeigt im Aufriſs, Fig. 26 ebendaselbst im Grundriſs von unten gesehen, Fig. 24 perspectivisch in ihrer Lage am Frosche, Klemmen aus Messing, welche an Hautfalten desselben angelegt werden und dabei doch das Thier mit einer hinlänglich ausgedehnten metallischen Oberfläche berühren, um auch von schwachen Strömen noch kräftige Wirkungen erwarten zu können. Die Art der Anwendung erhellt aus den Abbildungen dergestalt, daſs es kaum einer weiteren Erläuterung bedarf; nur die Maſse dürften willkommen sein. Ich besitze deren drei von verschiedener Gröſse, von der Arbeit der Herren Böttcher und Halske, also zwei Paar für verschieden groſse Frösche. Die kleinere wird stets, mit dem schmäleren Ende nach vorn, dem Kopfe des Frosches zunächst angebracht; die schräge Lage der beiden Mäuler der Klemme ist darauf berechnet, daſs man sie an die wulstigen Hautfalten anlege, welche der Länge lang die Rückenfläche des Frosches gegen die Flanken abgrenzen. Heiſsen die Klemmen ihrer Gröſse nach *A*, *B*, *C*, so messen, bei abgewickelten Bögen der unteren Fläche (S. die Fig. 26):

| | *ab* | *cd* | *ac'* |
|---|---|---|---|
| *A* | 24$^{mm}$ | 17$^{mm}$ | 10$^{mm}$ |
| *B* | 15 | 13.5 | 9 |
| *C* | 12 | 9.3 | 8 |

Die beiden letzten Gröſsen entsprechen der am häufigsten vorkommenden Gröſse der Frösche. Die unteren Flächen der Klemmen sind begreiflich frei von Lack; die Mäuler ganz stumpf gezähnt.

Das Anlegen der Klemmen bietet eine Schwierigkeit dar. Man bedarf nämlich dazu im Grunde dreier Hände: der einen zum Festhalten des Körpers der Klemme in der geeigneten Lage, der anderen zum Festhalten der Hautfalte mittelst einer Pinzette im Maul der Klemme, der dritten zum Anziehen der Schraube. Man umgeht dieses Hinderniſs leicht, indem man den Dienst der zweiten Hand durch eine Charrière'sche Torsionspinzette ersetzt, welche man, während sie die Hautfalte gefaſst hält, ruhig auf dem Rücken des Frosches liegen läſst.

Unumgänglich nothwendig ist es endlich, wie die Figur es zeigt, die Klemmen, an ihren Leitungsdrähten, oberhalb des Frosches aufzuhängen, wodurch erst ihre Lage vollständig gesichert wird, so daſs sie nicht mehr, an den gefaſsten Hautfalten hin und wieder hängend, miteinander in metallische Berührung zu kommen vermögen.

## §. VII.

## Aufbewahrung und Zurichtung der Frösche.

Sämmtliche Versuche, von denen nicht ausdrücklich das Gegentheil bemerkt ist, sind an R. esculenta angestellt. R. temporaria ist durchweg zu klein und ermangelt auch, wie mir hat scheinen wollen, jener Lebenszähigkeit, welche die abgelösten Glieder der ersteren Thierart zeitweise gleichsam zu ächten physikalischen Vorrichtungen, welche sich wie eine Maschine studiren lassen, macht.

Die anorganische Physik verschmäht es nicht, sich mit den besten Vorschriften zur Verfertigung ihrer Beobachtungswerkzeuge, Thermometer, Barometer u. s. w. bis ins Einzelnste zu befassen; ich halte es daher nicht unter der Würde der organischen Physik, sich über das Verfahren Aufschluſs zu verschaffen, wie ihr absolutes Organ, [1] der Frosch, der für einen groſsen Theil derselben in der That das ist, was dem Nacheiferer Moser's oder Melloni's die wohlgeputzte Daguerre'sche Platte oder die Thermosäule, am leichtesten und besten, trotz dem Wechsel der Jahreszeiten, das ganze Jahr hindurch in hinreichender Menge und tauglichem Zustande zu erhalten sei. Ich wünsche nur, dadurch Anderen die Mühe zu ersparen, auf Kosten eigener, leicht sehr unangenehmer Erfahrungen die Kenntniſs folgender Bemerkungen, wie unzureichend sie auch sein mögen, zu erwerben.

Es giebt zwei Arten, die Frösche zu überwintern; man könnte sie als die auf trockenem, und die auf nassem Wege bezeichnen. Die erstere geht dahin, das Thier in einen möglichst seinem natürlichen Zustande gleichen zu versetzen. Durchlöcherte Kisten, halb mit frischgesammeltem Waldmoose angefüllt, nehmen die Frösche auf und werden von Zeit zu Zeit, um den Unrath zu entfernen, mit Wasser durchgossen. Man sieht wohl, wie sich dieselben Anfangs im Innern des Mooses zum Winterschlaf anschicken, sehr bald jedoch erscheinen sie wieder an der Oberfläche, und die Unmöglichkeit, die natürlichen Bedingungen ihrer Ueberwinterungszustände täuschend genug nachzuahmen, liegt am Tage.

Bei dem Verfahren auf nassem Wege hält man die Thiere in flachen irdenen Gefäſsen, in denen einen halben Querfinger hoch Wasser steht und über welche Netze gebunden sind. Alsdann ist es leicht, sie häufig durch Bespühlen mit frischem Wasser zu reinigen und zu erfrischen.

[1] Schwerlich wird der Froschschenkel jemals, wie Bailey gewollt hat, den Springbeinen der Heuschrecken den Platz räumen. Bibliothèque universelle etc. Nouvelle Série. Juillet 1837. t. X. p. 182. 6.*

Bei beiden Methoden gilt die Regel, möglichst wenig Thiere in einem möglichst grofsen Raume beisammen zu halten und möglichst oft das Wasser oder das Durchgiefsen durch das Moos, auch wohl dieses selbst zu erneuern.

Nichtsdestoweniger wird man, wie ich wenigstens in vier aufeinanderfolgenden Wintern zu bemerken die unerwünschte Gelegenheit hatte, bei beiden Methoden kurze Zeit nach der Einsammlung des Vorrathes eine tödtliche Seuche ausbrechen sehen, deren Gang und Symptome ich später beschreiben werde.[1] Die nasse Methode ist hier von unbedingtem Vortheil; durch Absonderung der angesteckten Thiere und reinliches Halten der übrigen kann man es dahin bringen, dafs vielleicht nur 10 — 15 Prct. der Krankheit zum Opfer fallen; bei dem trockenen Verfahren gegen 50 Prct. Allein auf der anderen Seite ist es gewifs, dafs die dem Tode entgangenen übrigen Frösche bei der letzteren Methode sich viel tauglicher zu allen Arten von thierisch-elektrischen und Reizversuchen zeigen, als die in Wasser gehaltenen, welche in Zustände verfallen, die ein Praktiker als hydropische und leukophlegmatische bezeichnen würde.[2] Ich mufs daher rathen, lieber dem trockenen Verfahren den Vorzug zu geben, allein dabei nicht mehr als 10—12 Thiere in eine Kiste von einem Cubikfufs zu sperren, was, bei den bedeutenden Vorräthen, welche Untersuchungen dieser Art in Anspruch nehmen, allerdings eine drückende Verpflichtung ist.

Ein Wort endlich über die allgemeinsten Kunstgriffe beim Zurichten der Frösche zu thierisch-elektrischen Versuchen wird vielleicht manchem Anfänger oder dem Physiker so erwünscht sein, als es dem erfahrenen Anatomen überflüssig scheinen mag.

Man tödtet für gewöhnlich, wenn man nicht den sonst unverletzten Gesammtfrosch braucht, am zweckmäfsigsten indem man das spitze Blatt einer Scheere in die Schultergegend einsticht, den Halstheil des Rückenmarkes zerschneidet, und mittelst einer Sonde das Gehirn zerbohrt. Gehirnerschütterung, die man im anderen Falle anwenden mufs, zieht immer tetanische Krämpfe nach sich, was der Erregbarkeit nachtheilig sein kann. Man bringt sie leicht durch einen Schlag auf die Tischkante hervor, indem man den Frosch an beiden Beinen hält. Beim Abziehen der Haut ist es meistens rathsam, durch ein Paar Scheerenschnitte die Anheftungen zu lösen, da man sonst leicht Muskeln verletzt. Wirklich zum Versuch gehörige Muskeltheile des Präparates aber dürfen, wenn nicht gerade umgekehrt der Versuch es so mit sich bringt, niemals anders als durch ihre natürliche Oberfläche

[1] S. unten, 3. Abschn., Kap. V. §. 1.

[2] S. ebendas.

begrenzt sein. Ich bemerke dies ausdrücklich, obschon es sich von selbst verstehen dürfte, weil Matteucci, den Abbildungen in seinem *Traité etc.* und in den *Philosophical Transactions etc. For the year 1845. p. II. pl. III. IV.* nach, diese wichtige Vorschrift ganz aufser Acht zu lassen scheint. Die Anordnung der Muskeln an dem Becken des Frosches, der für alle Bedürfnisse unserer Untersuchung förmlich wie besonders geschaffen erscheint, macht es glücklicherweise möglich, sich ein Präparat von den ganzen hinteren Extremitäten dieses Thieres darzustellen, an dem nirgends eine künstliche Flächenbegrenzung von Muskeln vorhanden ist. Der Gesammtfrosch wird, nachdem er durch Gehirnerschütterung betäubt worden, folgendermafsen enthäutet: Man führt einen Scheerenschnitt durch die Haut in der Längsmittellinie rings um den ganzen Rumpf, von der Nase zum After oberhalb, und dem Kinn eben dahin unterhalb; nachdem man alsdann Daumen und Zeigefinger zu beiden Seiten des Bauches durch die Scheidewände der sogenannten Lymphräume bis zur Berührung hindurchgezwängt hat, gelingt es fast immer, jede Hälfte der ganzen Haut durch einen einzigen Zug auf einmal zu entfernen.

Bei der ferneren Zurichtung bediene ich mich allein der Scheere und Pinzette. Die Präparation der einzelnen Oberschenkelmuskeln beginnt man, wie die des Ischiadnerven (S. oben S. 255) stets am Knie, nachdem man hier die Sehne zerschnitten hat. Zu Rückenmarkspräparaten bedarf man einer besonderen, von Joh. Müller hiezu empfohlenen Zange;[1] sie ist in Stilling's »*Untersuchungen über die Functionen des Rückenmarks und der Nerven*« Leipzig 1842.* abgebildet. Zu allen Unterbindungen, sowohl von Nerven als von Gefäfsen, eignet sich ein vieldoppelter Faden von roher Seide ganz vorzüglich, weil sie tief einschneidet, und bei ihrer Dünne und Glätte sich willig in die engsten Knoten begiebt. Da man so häufig einer isolirenden Unterlage sogleich nach der Präparation bedarf, so ist es ebenso bequem als auch sonst reinlich und zierlich, dieselbe auf einer Porzellanplatte zu vollziehen, wie sie zum Auslegen der Tische in chemischen Laboratorien dient.

Ganz unentbehrlich sind schliefslich, um thierische Theile auf den Bäuschen der Zuleitungsgefäfse in der Nähe des Multiplicators und ohne Gefahr fremder elektromotorischer Wirkungen handhaben zu können, messingene Pinzetten, welche mit isolirenden, am besten Knochenspitzen versehen sind, wie man dergleichen in den Gewichtskästchen einiger Wagen zu finden pflegt.

[1] Handbuch der Physiologie u. s. w. Bd. I. 4. Auflage. 1844. S. 560.*

## Dritter Abschnitt.

# Untersuchung.

# Dritter Abschnitt.

# Untersuchung.

## Erstes Kapitel.

## Zurückführung des Froschstromes auf einen allgemein vorhandenen Muskelstrom.

### §. I.

### Strom des Gesammtfrosches.

Nach diesen mannigfaltigen Vorbereitungen schreiten wir endlich zur Untersuchung selbst. Sie beginnt, was das natürlichste scheint, mit der näheren Bewährung des von Matteucci entdeckten scheinbar einfachsten Falles, des Stromes nämlich, den man von einem ganzen enthäuteten sonst unversehrten Frosche erhält, wenn man Kopf und Füfse desselben mit dem Multiplicator verbindet. Ich lasse mich, obgleich ich dabei wenig Neues zur Sprache zu bringen habe, etwas genauer auf denselben ein, weil er zunächst bestimmt sein dürfte, als Vertreter dieses Gebietes von Erscheinungen in den Kreis der Versuche für Vorlesungen gezogen zu werden.

Die Zuleitungsgefäfse werden hier ohne Bäusche und mit dem langen S. 219 beschriebenen Schliefsungsrohre gebraucht. Die bis an den Rand ihrer Bekleidung versenkten Platinplatten sind in den Hintergrund der Gläser zurückgezogen, um Raum für das Eintauchen der thierischen Theile zu gewähren. Die Zurichtung des Frosches für diesen Versuch ist so eben S. 460 beschrieben worden. Blutet derselbe nach dem

Abziehen der Haut heftig, was nicht selten der Fall zu sein pflegt, so ist es zweckmäfsig vor dem Auflegen die Stillung der Blutung abzuwarten, und ihn von den gebildeten Gerinnseln wenigstens an den Orten zu befreien, wo er mit der Salzlösung der Gefäfse in Berührung kommen soll: denn das Blut verdünnt dieselbe und bringt dadurch sowohl als durch seine alkalischen Eigenschaften einen Strom zur gesättigt und neutral gebliebenen Flüssigkeit des anderen Gefäfses hervor, wodurch, wenn die Blutung am Kopfe geschah, der aufsteigende Froschstrom, wie man sieht, zum Theil aufgewogen, wenn sie an den Hinterfüfsen stattfand, dagegen vergröfsert werden mufs, jedenfalls aber eine bleibende lästige Ungleichartigkeit der Multiplicatorenden erzeugt wird.

Das Auflegen geschieht am besten in folgender Weise. Mit der rechten Hand fafst man die Vorderpfoten des Frosches, die rechte zwischen Daumen und Zeige-, die linke zwischen Zeige- und drittem Finger, den Rücken des Zeigefingers gegen die Brust des Frosches, die Spitzen der Finger nach seinen Beinen gekehrt; taucht die Füfse, bis zur Hälfte des Tarsus, in das zur Rechten stehende Gefäfs, den Rükken des Frosches nach dem zur linken befindlichen gewendet; drückt mit der linken Hand die Knöchel gegen den Rand des Glases an, und beugt den Frosch rücklings über mit dem Gesicht und der Nasenspitze behutsam in das andere Gefäfs hinein, wobei das eingebogene Rückgrad mit seiner Höhlung nach unten zu liegen kommt. Die Nebenschliefsung durch den eigenen Körper kommt bei diesem rohen Versuche nicht in Betracht. Die Berührungsflächen mit der Salzlösung sind grofs genug, wenn sie dem kleinsten Querschnitte, den der Frosch selbst darbietet, also dem des Knie- oder des Fufsgelenkes, an Ausdehnung nicht nachstehen.

Ist der Frosch in dem Zustande, den man als den normalen zu betrachten berechtigt ist, so verläfst augenblicklich die Nadel den Nullpunkt, und fliegt, an meinem Multiplicator, gegen die Hemmung. Sie zeigt einen Strom in dem Frosch von den Füfsen nach dem Kopfe, in dem Multiplicatordraht von dem Kopfe nach den Füfsen des Frosches an, also einen aufsteigenden Strom.

Aus dem oben S. 234 von der allgemeinen Erscheinungsweise der thierisch-elektrischen Ströme am Multiplicator Gesagten erhellt zur Genüge, was nun erfolgen wird, wenn man den Frosch längere Zeit aufliegen läfst. Ueber den Verlauf des Froschstromes selbst erfährt man nichts Gewisses mehr, denn er hat, von dem ersten Augenblick seines Eintretens an, Ladungen auf den Platinenden der Vorrichtung entwickelt, deren elektromotorische Gegenwirkung das Gesetz seiner Fortdauer gänzlich trübt und verdeckt. Will man gleichwohl diesen Gang

der Erscheinungen verfolgen, so stützt man den Frosch in der Lendengegend mittelst der oben S. 449 beschriebenen länglich viereckten Glasplatte, welche man zu diesem Behuf in die untere Klemme Fig. 19 Taf. III einspannt, und überläfst ihn sich selbst, ohne ihn jedoch aus den Augen zu verlieren, indem der Reiz der Salzlösung häufig heftige Reflexbewegungen nach sich zieht, welche, trotz der Sicherheitsplatte, der Vorrichtung leicht verderblich werden können.

Die Nadel kommt alsdann zwischen 10° und 20° zur Ruhe. Von hier an nimmt die Ablenkung langsam ab, und hält sich endlich stunden-, ja tagelang innerhalb der ersten 5 — 8°, wenn nicht Schwankungen der Ebene der freiwilligen Ablenkung des Nadelpaares mit in's Spiel kommen.

Es wäre, wie wir bereits wissen, voreilig, aus dieser scheinbar ganz unverhältnifsmäfsigen Abnahme auf das Verschwinden des Froschstromes schliefsen zu wollen; selbst nach stundenlanger Frist gilt der einzige richtige Schlufs in dieser Beziehung, wenigstens innerhalb der Grenzen der Genauigkeit, wie wir sie hier im Auge haben, allein den Ladungen der Platinenden.

In der That, entfernt man den Frosch, und bringt das Schliefsungsrohr an seine Stelle, so fliegt, wie vorher auf der entgegengesetzten Seite, die Nadel wider die Hemmung, und je nach der Dauer des Aufliegens, findet man sie noch lange Zeit nachher in einer gröfseren oder kleineren, scheinbar beständigen Ablenkung nach dieser Seite hin begriffen.

Legt man aber jetzt den Frosch wieder auf, so erfolgt, zum Zeichen seines fast ungeschwächten Stromes, abermals ein Ausschlag in der Richtung vom Kopf zu den Füfsen in dem Multiplicatordraht, und abermals wird die Nadel gegen die Hemmung geführt; die allerstärksten Wirkungen erhält man indefs, was oben S. 242 auch bereits bevorwortet wurde, wenn man den Frosch, ohne vorläufige Entladung der Platinenden, unmittelbar umlegt, wo dann Froschstrom und Strom der Ladungen sich summiren. Längeres Aufliegen bringt wieder eine beständige Ablenkung zu Wege, und so läfst sich dasselbe Spiel vielemale, allerdings in allmählig abnehmender Stärke, wiederholen.

Schliefslich ist jedoch dieser Wahrnehmung eine Grenze gesetzt. Man findet, dafs ein verwesender Frosch elektromotorisch zu wirken aufgehört hat. Wann derselbe diese Fähigkeit einbüfse, ob der Verlust derselben in Beziehung zu irgend einer anderen wesentlichen Leichenveränderung stehe, darüber fehlt es durchaus an Angaben an allen Stellen an denen Matteucci die Stromabnahme und sein endliches Verschwinden an sich selbst überlassenen todten Individuen bespricht. Die

Feststellung dieser Grenze in dem eben angedeuteten Sinne wird daher eine unserer wichtigsten Aufgaben sein. [1]

---

## §. II.

## Strom des Galvani'schen Präparates.

An den eben erörterten Fall schliefst sich nun zunächst der zuerst von Nobili beobachtete des Galvani'schen Präparates an.

Man rückt die Gläser näher aneinander, vertauscht das längere mit dem kürzeren Schliefsungsrohr, und bereitet den Frosch nach Galvani's Vorschrift zu. Verfährt man jetzt mit dem Galvani'schen Präparate wie früher mit dem Gesammtfrosch, indem man die Füfse in das zur Rechten stehende Gefäfs taucht, sie mit der Linken festhält, und mit der Rechten das Becken rücklings überbeugt, bis das Stück Wirbelsäule die Oberfläche der Flüssigkeit in dem anderen Gefäfse berührt, so sieht man wiederum einen Ausschlag in der nämlichen Richtung und in ziemlich gleicher Stärke erfolgen, wie das erste Mal; gleichzeitig zucken die Schenkel beim Schliefsen, wenn das Thier hinreichend reizbar und frisch zugerichtet ist. Es bedarf nicht erst der Erwähnung, dafs alle obigen Erscheinungen, betreffend die Entwickelung der Ladungen, die dadurch bedingte Abnahme des Stromes, sein Wiederkehren nach ausgeglichener Polarisation u. s. w., welche eigentlich zum Wesen der aus Metallen und Elektrolyten zusammengesetzten Kette gehören, insofern nicht besondere Vorkehrungen zur Sicherung ihrer Beständigkeit getroffen sind, hier, wie bei allen anderen thierischen Elektromotoren in gleicher Weise stattfinden, daher ich ferner nicht mehr darauf zurückkommen werde.

Ein gewöhnliches Ereignifs bei diesem Versuche ist, dafs man das Präparat, in Folge der Anätzung des entblöfsten Rückenmarkes durch die gesättigte Salzlösung, wenigstens bei längerem Aufliegen in die heftigsten Krämpfe verfallen sieht. Es ist derselben bereits oben S. 326 bei einer anderen Gelegenheit gedacht worden.

Man erinnert sich, dafs Nobili, dem dieser Fall des Froschstromes einzig bekannt war, den Ursprung des Stromes darin suchte, dafs die kleinere Masse des Nerven schneller verdunste und daher stärker erkalte als die bei verhältnifsmäfsig geringerer Oberfläche gröfsere Masse

[1] S. unten, Kap. V. §. 1.

der Schenkelmuskeln. Es ist unbegreiflich, wie dieser sonst so gewandte Forscher nur einen Augenblick bei dieser Meinung stehen bleiben konnte. Er brauchte nur den Versuch zu wiederholen, indem er dabei die Nerven und das Stück Wirbelsäule gänzlich in die Flüssigkeit des entsprechenden Gefäfses versenkte, oder indem er sich der blofsen Schenkel des Frosches, ohne den Anhang der Nervenstämme und des Stückes Wirbelsäule bediente, und er hätte, bis auf die Zukkung, genau denselben Erfolg, nur noch in etwas gröfserer Stärke wahrgenommen, ein Ergebnifs, was mit seiner Vorstellungsweise unverträglich ist. In der That, die durch einen Scheerenschnitt dicht über der Schambeinfuge vom Rumpf getrennten, oder noch mit der hinteren Beckenwand versehenen unteren Extremitäten geben einen eben so starken und in derselben Richtung verlaufenden Strom, wie der Gesammtfrosch selbst; er ist etwas stärker, als der des nach Galvani's Vorschrift zugerichteten Frosches, weil der bedeutende Widerstand fortgefallen ist, der mit den Nerven in die Kette eingeführt wurde. Die Zuckung bleibt jetzt, auch bei der gröfsten Reizempfänglichkeit, aus, weil der Strom an keiner Stelle mehr auf die Nerven allein eingeschränkt, weil nirgends mehr seine Dichtigkeit in denselben grofs genug ausfällt, um dergleichen zu erzeugen.

Dies letztere Präparat nun eignet sich, der Leichtigkeit seiner Darstellung und Handhabung, der Einfachheit seiner Zusammensetzung aus wenigen organischen Systemen, der Stärke und Ausdauer seiner Wirkung und der Unwandelbarkeit seiner Strömungsrichtung wegen ganz besonders zu allen Versuchen über den Einfluss, den verschiedene Umstände auf den Froschstrom ausüben, und es wird daher in der Folge häufig in diesem Sinne angewandt werden. Wir wollen fortfahren, dasselbe, der Kürze halber, wenngleich uneigentlich, mit dem Namen des Galvani'schen zu belegen.

Auch Matteucci bedient sich der unteren Extremitäten des Frosches gleichsam als des Typus der thierischen Elektromotore und als Element seiner Froschsäulen; er läfst denselben aber stets den, wie man sieht, nicht nur unnützen, sondern wegen der Vergröfserung des Widerstandes und der durch das Austrocknen der Nerven herbeigeführten Ungleichmäfsigkeit der Wirkungen sogar schädlichen Anhang der Nervenstämme und eines Stückes Wirbelsäule, obschon dies einer der Gründe war, die ihn zwangen, auf die Anwendung einer besser leitenden Zuleitungsflüssigkeit Verzicht zu leisten, indem dann stets die obenerwähnten tetanischen Zufälle störend aufzutreten pflegten (S. oben S. 230).

Die Gröfse der Wirkungen, die er von den Galvani'schen Präpa-

raten seinem Verfahren gemäfs erhielt, ist gleichfalls oben S. 230. 231 bereits verzeichnet worden.

Hier liegt die Frage nahe nach der genaueren Ermittelung der relativen Stärke des Stromes des Gesammtfrosches und des Galvani'schen Präparates. Dieselbe bleibt jedoch hier sowohl wie für alle anderen thierischen Elektromotore unbeantwortet; weil sie nämlich, wie die Folge lehren wird, kein hinreichend grofses Interesse darbietet, um die Schwierigkeiten aufzuwiegen, welche sich einer Bestimmung der Art entgegensetzen würden.

---

## §. III.

## Strom des Rumpfes, der oberen Extremitäten, einzelner Glieder und Gliederabtheilungen.

Da die untere Hälfte des Frosches sich so kräftig elektromotorisch erwies, so schien es mir zunächst von Wichtigkeit, zu ermitteln, ob in dem Falle des Gesammtfrosches der Rumpf sich nur als feuchter Leiter von verhältnifsmäfsig geringem Widerstande verhalte, oder ob auch er, und in welcher Richtung alsdann, elektromotorisch sei.

Der Rumpf eines enthäuteten Frosches, nach Ablösung der Bauchmuskeln durch einen Schnitt oberhalb der Schambeinfuge durch Blase und Mastdarm und die hintere Beckenwand, ohne weitere Verletzung, also unausgeweidet, von den unteren Extremitäten getrennt, zeigt den Strom in derselben Richtung, allein ungleich schwächer, als der Gesammtfrosch und das Galvani'sche Präparat (15—25°).

Nun lag es auf der Hand, dafs auch die oberen Extremitäten einen Strom besitzen würden und vielleicht gleichfalls nach der Hirnrückenmarksaxe hin. Der Erfolg bestätigte diese Vermuthung. Man stellt sich durch Herausschneiden des Brust- und Schultergerüstes, mit daran befindlichen oberen Extremitäten, gleichsam ein Galvani'sches Präparat derselben in dem oben festgestellten Sinne dar, und taucht in das eine Gefäfs den Schwerdtfortsatz des Brustbeins, in das andere beide Vorderpfoten; der Strom, der bis 40° Ausschlag und eine entsprechende feste Ablenkung bewirken kann, ist in den thierischen Theilen von den Pfoten nach dem Brust- und Schultergerüst gerichtet.

Es blieb noch übrig, die einzelnen Glieder selbst und schliefslich deren Unterabtheilungen auf den Strom zu untersuchen. Was das erstere betrifft, so läfst sich der Erfolg des Versuches leicht voraus-

sehen. Es ist völlig undenkbar, dafs das Zusammenwirken beider Arme oder beider Beine nothwendig sei, um den Strom zu erzeugen; vielmehr liegt am Tage, dafs jedes einzelne Glied selbständig wirken müsse, indem es gleichzeitig, in Bezug auf den Multiplicatordraht, eine Nebenschliefsung für den Strom des anderen Gliedes vorstellt. Es ist dies die Anordnung, welche in der Lehre von den Gesetzen der Fortpflanzung galvanischer Ströme mit dem Namen der zusammengesetzten Kette belegt worden ist und von der unten noch ausführlicher wird die Rede sein müssen. [1] Hier mag nur im Allgemeinen erinnert werden, dafs, was die verhältnifsmäfsige Stärke der Wirkungen eines Gliedes im Vergleich zu der vereinigten beider Glieder betrifft, sie abhängig erscheint von dem Verhältnisse des Widerstandes jedes einzelnen Gliedes zu dem des übrigen Kreises, so zwar, dafs die Stärke des Stromes beider Glieder die des Stromes des einzelnen Gliedes um so mehr übersteigen wird, einen je gröfseren Theil des Widerstandes der Kette der Widerstand eines einzelnen Gliedes ausmacht. Ein absolutes Verhältnifs kann demnach hier nicht gesucht werden.

Die Erfahrung zeigt nun, dafs in der That das einzelne Bein, der einzelne Arm einen Strom, zwar von etwas geringerer Stärke, jedoch in der nämlichen Richtung geben, wie das Galvani'sche Präparat oder der Schultergürtel nebst oberen Extremitäten.

Auffallend ist, dafs wenn man die beiden Hälften des Galvani'schen Präparates sich in der Weise entgegenwirken läfst, dafs die beiden Füfse des auf der Glasplatte des allgemeinen Trägers rittlings sitzenden Frosches in die beiden Gläser der Vorrichtung tauchen, man trotz aller Vorsicht in Betreff des gleich tiefen Eintauchens und der symmetrischen Präparation der Beckengegend, niemals Gleichgewicht beobachtet.

Theilt man sodann ein Froschbein im Kniegelenk in Ober- und Unterschenkel, so findet man abermals, dafs diese Theile elektromotorisch wirksam sind, und zwar beide in demselben Sinne als alle bis jetzt genannten thierischen Elektromotore, nämlich scheinbar nach der Hirnrückenmarksaxe hin; der Oberschenkel nur schwach (15—25° Ausschlag); der Unterschenkel nebst Fufs hingegen eben so stark als der Gesammtfrosch selbst, das Galvani'sche Präparat und das einzelne Bein. Auch der Unterschenkel allein, mit seinen beiden Enden beliebig auf die Bäusche aufgelegt, giebt einen starken aufsteigenden Strom; einen schwächeren der blofse zwischen den Zehen und dem Fufsgelenke auf die Zuleitungsgefäfse aufgelegte Fufs.

[1] S. unten, Kap. III. §. III. 3.

Endlich gehört hieher die allgemeine Bemerkung, dafs man beim queren Auflegen der Glieder, z. B. des Oberschenkels, wozu man sich auch bereits der Bäusche bedienen mufs, entweder keine, oder nur schwache und jedenfalls ganz unregelmäfsige Wirkungen beobachtet. Das elektromotorische Moment scheint demnach, diesen ersten Wahrnehmungen zufolge, in der Richtung der Axe der thierischen Glieder allein oder vorzugsweise thätig zu sein.

Man wird gestehen, dafs es, dem Mitgetheilten zufolge, nicht leicht war, sich der Vorstellung zu enthalten, dafs man hier auf eine, zu den Verrichtungen des Nervensystemes in nächster Beziehung stehende Erscheinung gestofsen sei, da dies zunächst als die einzige Deutung erscheint, welche sich von der wunderbaren Beharrlichkeit des Froschstromes geben läfst, unter scheinbar so verschiedenen Bedingungen seine Richtung stets nach der Hirnrückenmarksaxe hin zu nehmen.

Es kommt indessen schon beim Auflegen der Arme und des Oberschenkels nicht selten vor, dafs man einen Ausschlag in der anderen als der gewöhnlichen Richtung, nämlich in absteigendem Sinne, erfolgen sieht. Namentlich ist dies dann der Fall, wenn die Schulter- oder die Beckengegend nicht mit Schonung, sondern mit bedeutender Verletzung der betreffenden Muskelmassen präparirt worden sind. So fängt das Zufällige in jener verfänglichen Erscheinung bereits angedeutet zu werden an.

---

## §. IV.

## Ströme anderer Thiere und ihrer Gliedmafsen.

Die Untersuchung wendet sich nun, wie natürlich, zunächst auf andere Thiere, da es undenkbar ist, dafs, wie Matteucci bis vor ganz Kurzem glaubte, [1] der Frosch allein mit einem solchen Strome begabt sein sollte.

Die nächsten Verwandten von R. esculenta, als: R. temporaria, Hyla arborea und die einheimischen Krötenarten, Bufo cinereus, calamita und viridis, zeigen in allen Theilen den Strom mit dem von R. esculenta gleichgerichtet. Nur dafs die Stärke, zum Theil unstreitig wegen der geringeren Entwickelung des bei R. esculenta so mächtig wirkenden Galvani'schen Präparates, bereits bei R. temporaria ungleich geringer ausfällt; noch kleiner findet man sie bei den Bufonen, welche,

[1] S. unten, Kap. II. §. IV.

wie schon v. HUMBOLDT bemerkt, auch durch ihre Trägheit im Antworten auf galvanische Reizung ausgezeichnet sind. [1]

Salamandra maculata (vom Harzgebirge) giebt zwischen Mundspitze und der Bauchfläche des Schwanzes den absteigenden, zwischen Mundspitze und Hinterfüfsen den aufsteigenden Strom weit schwächer; das GALVANI'sche Präparat giebt zwischen der Kreuzbeinfläche und den Füfsen den absteigenden, zwischen der Bauchfläche und denselben den aufsteigenden Strom.

Lacerta agilis giebt, wenn man den Kopf einerseits, andererseits die Hinterfüfse und den Stumpf des zwischen denselben dicht hinter der Afterspalte abgeschnittenen Schwanzes auflegt, einen Ausschlag in derselben Richtung als die oben genannten ungeschwänzten Batrachier. Legt man aber an dem unteren Ende nur die Füfse auf, so erfolgt der Ausschlag in absteigendem Sinne. Das GALVANI'sche Präparat, von dieser Eidechse genommen, hat den Strom in aufsteigendem Sinne, wenn man am Beckenende desselben die Schambeinfuge auflegt, in absteigendem dagegen, wenn man das Kreuzbein auflegt; doch läfst sich darüber nichts ganz Bestimmtes und allgemein Gültiges aussagen. Der Rumpf mit den oberen Extremitäten und allen Eingeweiden wirkt in absteigender, die Arme bald in auf-, bald in absteigender Richtung.

Das Bein einer Taube giebt den absteigenden, der bloíse Unterschenkel hingegen den aufsteigenden Strom, und zwar wirkt derselbe stärker als vorher das ganze Bein.

Ein Kaninchenbein giebt einen sehr schwachen aufsteigenden Strom. Der Ober- und Unterschenkel desselben an und für sich sind nicht der Untersuchung fähig, weil sie nicht füglich ohne Verletzung der Muskelmassen des unteren Endes des Oberschenkels frei dargestellt werden können, wodurch, wie wir schon vom Frosche her wissen, die Ergebnisse unregelmäfsig werden.

Geeigneter zu diesen Versuchen ist, unter den warmblütigen Thieren, die Maus. Zwischen Kopf und Schwanzstumpf, oder den Oberschenkelstümpfen nach Entfernung der Unterschenkel im Kniegelenk, erhielt ich von derselben den absteigenden, zwischen Kopf und Füfsen einmal den aufsteigenden Strom; der Rumpf und das GALVANI'sche Präparat wirkten aufsteigend; ein einzelnes Bein hingegen, zwischen der Längsmittelebene des Beckens und der vorderen äufseren Fläche des Unterschenkels aufgelegt, zeigte den absteigenden Strom.

Die allgemeine Erscheinungsweise aller hier aufgezählten Ströme stimmt, bis auf einige den warmblütigen Thieren zukommende Eigen-

[1] Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Bd. I. S. 303.

thümlichkeiten, von denen nachmals die Rede sein wird, mit der des Stromes des Gesammtfrosches und seiner Gliedmafsen völlig überein. In mehreren Fällen macht es die Gestalt und Kleinheit der thierischen Theile nothwendig, sich der Bäusche zu bedienen. Die Stärke der Ströme reicht selten an die beim Frosch beobachtete. Alle diese Versuche sind übrigens, ihrem Wesen nach, äufserst roh und zum Theil sehr unsicher, indem man unter wenig verschiedenen Umständen der Lage leicht die entgegengesetzte Strömungsrichtung erfolgen sieht. Vorzüglich ist dies, erwähntermafsen, wie bei den oberen Extremitäten und dem Oberschenkel des Frosches dann der Fall, wenn man bei der Zurichtung die Muskeln selbst durchschnitten und ihr Inneres freigelegt hat, anstatt die Glieder so zu bereiten, dafs sie von allen Seiten nur natürliche Muskelbegrenzungen darbieten, was freilich oft nicht ausführbar ist. Nichtsdestoweniger wird durch diese wenigen Versuche unser Gesichtskreis bereits bedeutend erweitert. Wir entnehmen denselben folgende Schlüsse.

Es folgt erstens daraus, dafs das elektromotorische Vermögen eine den enthäuteten frischen Leichen der Säugethiere, Vögel, Amphibien, also wahrscheinlich auch der Fische in gleicher Weise zukommende Eigenschaft sei. Dieser Satz wird unten noch, mit Hülfe der einfacheren Elemente der thierisch-elektrischen Ketten, vielfach bestätigt und auf die Wirbellosen ausgedehnt werden.

Zweitens, dafs die am Frosch anfangs so bedeutsam entgegentretende Beharrlichkeit des bei ihm durch dieses Vermögen gesetzten Stromes, seinen Weg nach der Hirnrückenmarksaxe zu nehmen, nun nicht mehr anders denn als eine täuschende Zufälligkeit erscheinen kann. Man könnte diesen Schlufs für gewagt halten und geneigt sein, wegen der bei anderen Thieren wahrgenommenen Schwankungen der Strömungsrichtung, gegenüber der bei den ungeschwänzten Batrachiern vorhandenen Beständigkeit derselben, diese beiden Arten von Wirkungen für nicht einerlei anzusehen. Indessen werden spätere Ergebnisse unserer Untersuchungen den Gang, den wir hier nehmen, rechtfertigen kommen.

Von einem Froschstrome kann nunmehr begreiflich die Rede nicht mehr sein. Mit demselben Rechte könnten wir, beim Frosche, von einem Tauben- oder Kaninchenstrome sprechen, mit dem wir, beim Kaninchen oder der Taube, von dem Froschstrome sprechen würden. Auch stände es uns jetzt frei, unsere Untersuchung an irgend einem anderen beliebigen Thiere, statt am Frosche, fortzusetzen. Fahren wir gleichwohl fort, uns desselben zu bedienen, so geschieht dies, wohlverstanden, nicht etwa, weil die zu beobachtenden Erscheinungen

ein Einzelrecht desselben wären; sondern es geschieht wegen der bekannten Vorzüge, vermöge welcher, seit mehr als anderthalb Jahrhunderten, dieses Thier »zu seinem Unglück, die Hauptaufmerksamkeit der »Physiologen auf sich gezogen hat.« [1] Der Vorwurf, dafs dadurch an manchen Stellen die Untersuchung ins Mikroskopische gezogen werde, kann uns nicht treffen. Keine Gröfse der Theile vermag die unverwüstliche Leistungsfähigkeit zu ersetzen, welche uns, in unseren Gegenden, aufser der seltenen und schwer zu handhabenden Schildkröte, einzig der Frosch darbietet, und die Leichtigkeit, sich ihn in hinreichender Menge zu verschaffen und monatelang ohne Speise aufzubewahren: abgesehen davon, dafs, wie die Folge lehren wird, die Stärke der thierisch-elektrischen Wirkungen keinesweges in gleichem Verhältnisse mit der Masse der organischen Gebilde wächst, von denen sie abgeleitet werden.

---

## §. V.

## Physiologische Wirkung der thierisch-elektrischen Ströme.

Die physiologische Wirkung der thierisch-elektrischen Ströme betreffend, habe ich den zahlreichen Versuchen meiner Vorgänger an Allgemeinem, bereits Hiehergehörigem, nur wenig hinzuzufügen. Diese Wirkung bietet in der That, abgesehen von dem sich daran knüpfenden geschichtlichen Interesse, und den in das Gebiet des Gesetzes der Zuckungen einschlagenden bereits S. 390. 409 angestellten Betrachtungen, zu denen sie Anlafs giebt, gleich der Jodkaliumelektrolyse nur das sehr beschränkte Interesse dar, dafs sie die Möglichkeit ihres Zustandekommens an den Tag legt; ich will indessen, aus denselben Gründen, aus denen ich mich oben S. 463 auf die Art und Weise der Darstellung des Froschstromes näher eingelassen habe, auch hier etwas genauer auf die zu befolgenden experimentellen Methoden eingehen.

Der Gesammtfrosch selbst kann nicht, den oben S. 251 ff. erörterten Grundsätzen gemäfs, zur Anzeige seines eigenen Stromes durch Zukkung benutzt werden, weil derselbe an keiner Stelle auf die Nerven allein als Leiter angewiesen ist, also nirgends in diesen die gehörige Dichtigkeit erlangt. Es wird also nöthig, sich des stromprüfenden

[1] v. Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Bd. I. S. 290.

Schenkels zu bedienen, und zwar kann man nun, entsprechend den beiden bereits aus der ersten Zeit des Galvanismus stammenden Anordnungen der Zuckung ohne Metalle oder mit Anlegung eines gleichartigen Metallbogens, auf doppelte Weise verfahren.

Im letzteren Fall stellt man zwischen die auf mehr als eine Froschlänge auseinandergerückten Zuleitungsgefäfse, aus deren einem der Bausch entfernt sein mufs, ungefähr 10$^{mm}$ von dem zurückgebliebenen Bausche, einen Zwischenbausch in der oben S. 449 beschriebenen Weise auf. Beide Bäusche werden an gegenüberliegenden Stellen mit den oben S. 223 beschriebenen Eiweifshäutchen bekleidet. An der Säule des allgemeinen Trägers, welche den Zwischenbausch stützt, ist auch die Klemme mit der für den stromprüfenden Schenkel bestimmten Glasplatte befindlich, dessen Nerv die Lücke zwischen beiden Bäuschen überbrückt, vor deren Salzlösung er eben durch die Stückchen Blase zeitweise geschützt ist. Man taucht dann die Füfse des Gesammtfrosches in das andere Gefäfs, und beugt ihn rücklings so tief nieder, bis seine Nasenspitze den Zwischenbausch berührt; in demselben Augenblicke zuckt der stromprüfende Schenkel und die Nadel zeigt den aufsteigenden Froschstrom an. Begreiflich hat man dabei die Zurichtung des Schenkels bis zuletzt zu lassen, da er auf dem Gipfelpunkte seiner Erregbarkeit stehen mufs. Von der Abwesenheit jedes anderen Stromes im Kreise kann man sich leicht überzeugen, indem man durch eine beliebige feuchte, mit gesättigter Kochsalzlösung getränkte Brücke die Verbindung zwischen dem Zwischenbausch und der Flüssigkeit des leeren Zuleitungsgefäfses herstellt.

Beim Gebrauch des Galvani'schen Präparates mit seinen Nervenstämmen und dem Stück Wirbelsäule, welches daher den Vorzug verdient, werden der stromprüfende Schenkel und der Zwischenbausch entbehrlich: es dient sich selbst, seinem eigenen Strome als Rheoskop. Es ist jedoch nicht rathsam, das Stück Wirbelsäule unmittelbar in die Salzlösung des entsprechenden Zuleitungsgefäfses tauchen zu lassen, weil der Reiz derselben auf das blofsgelegte Rückenmark, wie schon bemerkt (S. oben S. 326. 466), fast unfehlbar die heftigsten Krämpfe nach sich zieht, auch die Nerven durch die Berührung mit derselben leicht ihre Leistungsfähigkeit einbüfsen. Am besten verfährt man auf folgende Weise: Die Füfse des Präparates tauchen in das eine Glas, das Becken wird auf irgendwelche Weise gestützt, und das Stück Wirbelsäule ruht in solcher Entfernung, dafs die Nervenstämme schlaff herunterhängen, auf dem mit Blase überzogenen Bausche des anderen Gefäfses. In dem metallischen Theile des Kreises befindet sich eine Lücke, und hier wird durch Schliefsen und Oeffnen in Quecksilber die Leitung der Kette ab-

wechselnd vervollständigt und unterbrochen: eine aus leicht zu würdigenden Gründen wirksamere Art der Erregung, als etwa das bloſse Schwenken des Stückes Wirbelsäule gegen den Bausch u. d. m.

Im Wesentlichen ist diese Anordnung, wie man sieht, die vollendetste Form, deren der GALVANI'sche Versuch mit gleichartigen Metallbögen fähig ist, indem der eingeschaltete Multiplicator dabei als sicherer Bürge für die wirkliche Gleichartigkeit der metallischen Enden auftritt. Es könnte der Einwand gemacht werden, daſs durch den beim Oeffnen und Schlieſsen in der Multiplicatorwulst möglicherweise entwickelten Gegenstrom (Extra-current) das Ergebniſs verdächtigt erscheine. Derselbe fällt jedoch fort, wenn man erwägt, daſs nur in seltenen Fällen die Oeffnungszuckung wahrgenommen wird, während doch nur in diesem Falle der Gegenstrom den ursprünglichen Strom vergröſsernd wirkt. Uebrigens ist es fraglich, ob ein so schwacher Strom einen merklichen Gegenstrom hervorzurufen vermag; endlich lehrt der Versuch, daſs die Einschaltung der Multiplicatorwulst in der Stärke der Zuckungen keinen Unterschied macht, geschweige denn zu ihrem Eintreten nothwendig wäre. Regel ist bei dieser Anordnung endlich, die Kette, um die Entwickelung von Ladungen möglichst zu verhüten, möglichst kurze Zeit geschlossen zu lassen.

Um den Strom des Gesammtfrosches ohne Einschaltung von Metallen wahrzunehmen, wird abermals ein besonderer Kunstgriff rathsam, wenn nicht nothwendig. Der Nerv des stromprüfenden Schenkels ist nämlich zu kurz, um von dem Gefäſse, worin die Füſse des Frosches tauchen, zu dem zu reichen, worin der Kopf befindlich ist. Die Einschaltung eines jeden selbst unwirksamen feuchten Leiters zwischen dieses Gefäſs und den zweiten Punkt des Nerven würde begreiflich sehr unzweckmäſsig sein. Auch der Unterschenkel selbst des stromprüfenden Präparates reicht nicht aus, um diese Lücke auszufüllen, wenn nicht die Thiere von sehr verschiedener Gröſse waren. Man thut daher am besten, drei in Gestalt eines gleichschenkligen Dreieckes aufgestellte Gefäſse und zwei Frösche anzuwenden, welche in entgegengesetzter Richtung als Schenkel des Dreieckes gelagert werden, während die Grundlinie durch zwei Bäusche, ähnlich denen der Zuleitungsgefäſse, und den zwischen denselben Schlieſsung bildenden Nerven des stromprüfenden Schenkels vorgestellt wird.

Dasselbe gilt vom GALVANI'schen Präparate, nur daſs dabei der stromprüfende Schenkel entbehrt werden kann, indem man beide Präparate so nebeneinander auf einer isolirenden Unterlage anordnet, daſs sie einen einzigen Kreis bilden, in dem der vereinigte Strom beider wirksam ist; wovon wir bereits oben in der Geschichte des Froschstromes

und bei Gelegenheit des Gesetzes der Zuckungen Beispiele von Nobili und Matteucci gesehen haben (S. oben S. 105. 396).

Die Methode des Umbiegens des Unterschenkels des Galvani'schen Präparates oder eines Frosches, dessen Rumpf nur noch durch die Ischiadnerven mit den unteren Extremitäten zusammenhängt, gegen das Stück Wirbelsäule oder den Rumpf vermeide man wegen der leicht dabei stattfindenden Zerrung der Nerven. Alle mit dem Galvani'schen Präparate anzustellenden Versuche glücken begreiflich ebensogut mit einem einzelnen Beine, und, da der Strom des Unterschenkels nebst Fufs, laut der Multiplicatoraussage, an Stärke dem des Gesammtfrosches, des Galvani'schen Präparates und des einzelnen Beines um nichts merkliches nachsteht, auch an dem als stromprüfenden Schenkel bezeichneten Präparate selbst. Hier kann, bei der Länge des Nerven, jede Zerrung leicht vermieden werden. Die Art, den Versuch anzustellen, ist so bekannt, dafs sie kaum noch angeführt zu werden braucht; die Zuckung erfolgt, indem man den Nerven sanft, aber schnell, und in grofser Ausdehnung mit dem Wadenmuskel in Berührung bringt. Auf die nämliche Weise kann man sich auch eines Beines oder Oberschenkels bedienen, wenn man den Nervenstamm möglichst hoch an der Wirbelsäule losgetrennt hat, und denselben gegen die Muskelmasse des Oberschenkels zurückbeugt.

Auch mir sind, gleich Pfaff und Joh. Müller (S. oben S. 101. 102) Fälle vorgekommen, in denen beim Umbiegen des Nerven gegen den noch mit der nassen Haut bekleideten Unterschenkel die Zuckungen erfolgten. Ich weifs nicht, ob man diesen Versuch für einerlei mit dem gewöhnlichen, am enthäuteten Unterschenkel angestellten zu halten habe, oder ob dabei besondere Ungleichartigkeiten der Haut mit im Spiel gewesen seien. Der nähere Sinn dieser beiden Deutungsweisen wird nachmals klar werden; hier sei nur bemerkt, dafs das von jenen Beobachtern berichtete Ausbleiben der Zuckung, wenn nur Muskel berührt wurde, nicht unbedingt für die letztere der beiden Auslegungen spricht, selbst, wenn nachher, bei wieder übergezogener Haut, der bejahende Erfolg wiedergekehrt wäre. Bei jenem einfachen Umbiegungsversuch nämlich am enthäuteten Unterschenkel ist noch eine besondere, wesentliche Bedingung zu berücksichtigen, die zwar schon Volta kannte (S. oben S. 72), deren Sinn uns aber auch hier noch dunkel bleiben würde, und deren Mittheilung daher einer späteren Auseinandersetzung vorbehalten wird.[1]

Ich habe nicht selten beobachtet, was ich nirgends verzeichnet gefunden habe, dafs die Zuckungen, die anfangs ausblieben, sich nach mehrmaligem Versuchen allmälig einfanden, ohne dafs sonst irgend etwas

[1] S. unten, Kap. II. §. III; — Kap. VIII. §. I.

mit dem Präparate vorgegangen wäre. Von sehr abgematteten Froschschenkeln, in den spätesten Zuständen der Erregbarkeit, und bei Anwendung ungleichartiger Metallbögen, ist allerdings eine ähnliche Erscheinung bekannt. [1] Auch hier bin ich zweifelhaft, ob ich den von mir wahrgenommenen Fall an dieselbe mit Hülfe der Annahme knüpfen soll, dafs hier die Schwäche des Reizes als des einen Factors der Erregung das bewirkte, was dort der niedrige Stand der Erregbarkeit als des andern; oder ob ich einer anderen Deutung Gehör geben soll, die sich uns in der Folge darbieten wird. [2]

Was die Wahrnehmung des Gesetzes der Zuckungen durch die thierisch-elektrischen Ströme betrifft, so schliefsen sich meine bisherigen Wahrnehmungen den Nobili'schen an. Matteucci's künstlichen oben S. 396 mitgetheilten Versuch nachzuahmen, ist mir nicht geglückt. Hier ist der Ort, die Deutung desselben, wenn er überhaupt der Wirklichkeit gemäfs ist, zu vervollständigen. Es fehlte dazu nichts mehr, als der Nachweis, dafs in der That ein Bein des Frosches in dem dasselbe zum Kreise schliefsenden Bogen einen um so stärkeren Strom entwickele, je weiter von einander entfernte Punkte von dem Bogen umfafst werden. Da der Fufs nebst Mittelfufs, der Unterschenkel und der Oberschenkel jeder an und für sich einen fast gleich kräftigen Strom in einer und derselben Richtung, nämlich aufsteigend entwickeln, und da der Widerstand dieser Glieder nur ein kleiner Bruchtheil desjenigen eines Kreises sein kann, der die doppelte Länge des Plexus ischiadicus an Nerven in sich fafst, so scheint es, als lasse sich allerdings nichts gegen die fragliche Voraussetzung einwenden. Ich mache übrigens von Neuem bemerklich, dafs hier eine wesentliche Lücke in unsern Kenntnissen obwaltet; die genaue Untersuchung der Wirkung des absteigenden Froschstromes ist noch nicht angestellt. Es gilt zu wissen, ob bei dieser Anordnung die Schliefsungszuckung fehlen und die Oeffnungszuckung eintreten, oder ob der nämliche Erfolg, wie beim aufsteigenden Strome, sich kund geben werde. In dem ersten Falle hätte man eine neue Bestätigung des ersten Ritter'schen Zustandes der Erregbarkeit; in dem zweiten fände sich Nobili's Deutung der Wirkungen bei aufsteigendem Strome bewährt. Vergl. oben S. 390.

[1] Fowler in Al. Monro's und Rich. Fowler's Abhandlung über die thierische Elektricität u. s. w. S. 90. * — Pfaff über thierische Elektricität und Reizbarkeit u. s. w. S. 84. * — v. Humboldt in Gren's Neuem Journal der Physik. 1796. Bd. III. S. 170. * — Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Bd. I. S. 329. * — Treviranus in Gilbert's Annalen der Physik. 1801. Bd. VIII. S. 46. 2. 47. 5. 49. 6. 7. *

[2] S. unten, Kap. VIII. §. II.

Ueber die physiologische Wirkung des Stromes der anderen Theile des Frosches und der übrigen thierisch-elektrischen Ströme habe ich keine Versuche angestellt, da dieselben gar nichts lehren und letztere auch bereits aus den ersten Zeiten des Galvanismus von v. Humboldt's Hand (S. oben S. 77) vorhanden sind. Matteucci täuscht sich also, wenn er sagt: »J'ai découvert sur un animal à sang chaud un autre »fait, qui prouve jusqu'à l'évidence l'existence d'un phénomène ana»logue à celui de la grenouille. J'ai séparé les deux cuisses d'un »vieux et robuste lapin, j'ai promptement préparé une portion assez »longue du gros nerf de ces cuisses, et je l'ai coupé dans sa partie »supérieure. En soulevant ce nerf avec un tube de verre, et ensuite »le faisant tomber sur la masse musculaire dans laquelle il se ramifie, »j'ai toujours vu, et pendant l'espace de deux ou trois minutes, toute »la cuisse se contracter fortement.« [1]

Ich weifs nicht, wodurch Matteucci bewogen wurde, Zweifel an der Einerleiheit des Stromes, der die Nadelablenkung in den Fällen des Gesammtfrosches, des Galvani'schen Präparates, des einzelnen Beines, u. s. w. erzeugt, und desjenigen, der die Zuckung ohne Metalle vermittelt, zu hegen, Zweifel, welche ganz grundlos erscheinen, so wie nur überhaupt der elektrische Ursprung dieser Zuckungen dargethan ist, was bereits im ersten Jahrzehend des Galvanismus seine Erledigung gefunden hat. Wollte man gleichwohl sich nach einem ferneren Grund für diese Einerleiheit umsehen, so würde man denselben augenscheinlich darin zu suchen haben, dafs der Strom jener thierischen Elektromotore in dem Multiplicatordraht und in dem Nerven bei der Zuckung ohne Metalle eine und dieselbe Richtung einschlage. Wir haben Grund, an der Möglichkeit dieser Beweisführung zu zweifeln, theils weil Präparate, welche die Zuckung ohne Metalle zeigen, auf einer zu hohen Stufe der Erregbarkeit stehen, um zur Anzeige der Strömungsrichtung dienen zu können (Pfaff, Ritter), theils weil es fraglich ist, inwiefern das Gesetz der Zuckungen überhaupt noch für so ausnehmend schwache Ströme gilt (Nobili); allein Matteucci hat uns ja seinerseits einen Versuch berichtet, in dem ihm dieser Nachweis auf das sicherste und vollständigste gelungen sein sollte (S. oben S. 396. 477). Nichtsdestoweniger zeigt er später an, dafs er jetzt erst zu der Beweisführung der Einerleiheit der Ströme, welche die elektromagnetische und die physiologische Wirkung hervorbringen, schreite, als der eigentlichen

[1] Comptes rendus etc. 21 Février 1842. t. XIV. p. 310.* — L'Institut. 1842. t. X. No. 426. p. 65.* — Archives de l'Électricité. 5 Novembre 1842. t. II. p. 445.* — Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 330.* — Philosophical Transactions etc. For the year 1845. Pars II. p. 299.*

Aufgabe, die er sich gestellt habe.[1] Diese Darlegung besteht darin, dafs er die Gleichheit des Einflusses nachweist, den verschiedene Bedingungen, welchen die thierischen Elektromotore ausgesetzt werden, auf die Nadelablenkung sowohl, als auf die Zuckungen ausüben. Es liefse sich dagegen der erhebliche Einwand machen, dafs diese Einflüsse, da sie gröfstentheils zerstörender Art sind, eben sowohl nur eine gleich schädliche, in der allgemeinen Veränderung der verletzten Gewebe begründete Wirkung auf beide von Matteucci angenommene Ströme gehabt haben könnten. Dieselbe Methode der Untersuchung, deren Grund wohl nur in einer Armuth an wahrhaft fruchtbringenden Fragen zu suchen ist, wird uns später noch mit zwei neuen, von den erwähnten und unter sich in Matteucci's Vorstellung verschiedenen Strömen in den Gliedern des Frosches bekannt machen. Matteucci könnte, an der Hand dieser Methode, leicht noch einen fünften darin entdecken, dem nämlich das Amt zufallen würde, die Ladungen auf den Platinenden zu entwickeln.

Doch sehen wir von der Bedeutung ab, welche Matteucci selbst seinen Erfahrungen beigelegt. Hieher gehört, von dieser ausgedehnten Versuchsreihe, nur die entsprechende Verstärkung der Nadelablenkung und der Zuckungen durch die Anordnung mehrerer Frösche zur Säule.[2] Die erstere hatte, wie wir wissen, bereits Nobili, die zweite Bunzen beobachtet (S. oben S. 100. 105). Es scheint jedoch nicht, dafs diese sehr bedeutend sein könne, namentlich wenn man sich, wie Matteucci, Galvani'scher Präparate mit ihren Nervenstämmen und einem Stück Wirbelsäule bedient, indem der Widerstand des Nerven des stromprüfenden Schenkels dann nur einen sehr kleinen Bruchtheil des Gesammtwiderstandes ausmachen kann, der folglich, mit der Einführung eines jeden neuen Frosches fast in demselben Mafse als die elektromotorische Kraft selbst erhöht wird. Nichtsdestoweniger berichtet Matteucci: »Plus le nombre de grenouilles qui composent la pile est grand, plus »les contractions propres sont fortes, et plus il est facile de les obtenir »dans le moment où l'on interrompt le circuit.«

Die übrigen Umstände, welche nach Matteucci einen gleichen Ein-

[1] Archives de l'Électricité. 1842. t. II. p. 439.* — Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 322.* — Traité etc. p. 105.*: »Me »voici enfin appelé à résoudre la question que je me suis principalement proposée »savoir si le courant propre de la grenouille tel qu'il est manifesté par le gal»vanomètre, à la même origine que les contractions dans la fameuse expérience de »Galvani.«

[2] Archives etc. Ibid. — Annales de Chimie et de Physique. Ibid. p. 223.* — Traité etc. p. 106.*

fluſs auf beide stromprüfende Mittel äuſsern, werden gehörigen Orts angeführt werden, wenn wir selbst uns mit der Untersuchung derselben beschäftigen.

---

## §. VI.

## Von der Unabhängigkeit des Stromes von verschiedenen organischen Systemen.

Auch was den Ursprung des Stromes und den Sitz der elektromotorischen Kraft betrifft, haben wir bereits durch unsere bisherigen Erfahrungen einige Fortschritte gemacht.

Da das Galvani'sche Präparat ohne seine Nerven und das Stück Wirbelsäule, ein bloſser Ober- oder Unterschenkel, ein Fuſs allein hinreichen, um die Erscheinung des Stromes zu zeigen, und da der Strom des ersteren Präparates sogar stärker ausfällt, als bei Gegenwart jenes dem Nervensysteme gehörigen Anhanges: so liegt am Tage, daſs das Centralnervensystem mit der Erzeugung des Stromes unmittelbar nichts zu schaffen haben könne. Und da nicht einmal nothwendig ist, damit derselbe zu Stande komme, daſs einerseits Muskeln, Sehnen und Beinhaut, andererseits Nerven die Zuleitungsflüssigkeit berühren, sondern z. B. in dem Falle des Galvani'schen Präparates das Auflegen der hinteren Beckenwand genügt, während die Nerven über den Schenkel zurückgeschlagen oder, soweit sie sichtbar waren, abgeschnitten sind: so scheint ferner deutlich, daſs dieselben in dem Nobili'schen Falle nichts weiter als die Rolle gemeiner feuchter Leiter von beträchtlichem Widerstande, vermöge ihres äuſserst geringen Querschnittes, spielen, eine Rolle, in der sie, abgesehen von ihrer sonstigen zuckungerregenden Eigenschaft, sehr gut durch einen nassen Flieſspapierstreifen oder Zwirnsfaden ersetzt werden mögen. Auf dem Fortfallen ihres Widerstandes beruht, wie bemerkt, die gröſsere Stärke des Stromes des Galvani'schen Präparates in unserem Sinne. Bei dem besonderen Interesse, welches sich gerade an einen etwaigen Zusammenhang zwischen dem Strome und dem Nervensystem knüpfen würde, werden wir übrigens später nochmals auf diesen Kreis von Betrachtungen zurückzukommen haben.

Eben so einleuchtend ist bereits, daſs auch der Blutumlauf und die Lungenathmung mit dem elektromotorischen Vermögen der thierischen Glieder in keinem unmittelbaren Verkehr stehen. Keinesweges soll indeſs damit gesagt sein, weder daſs der vorhergehende Einfluſs der

Nerven und des arteriellen Blutes auf die Gewebe für den Strom von keinem Belang sei, noch, dafs das etwa in den Haargefäfsen des abgelösten Gliedes vorhandene Blut, oder die in demselben verzweigte Nervenausbreitung keinerlei Einflufs auf das elektromotorische Moment ausüben: beides bedarf noch besonders geführter Beweise.

Die Quelle des Stromes in dem Fall des Gesammtfrosches und seines Rumpfes in der elektromotorischen Wechselwirkung der sauern und alkalischen Eingeweide in seinem Innern, Darmschleimhaut und Leber z. B., suchen zu wollen, wird nicht leicht Jemandes Meinung sein; auch diese Möglichkeit indefs ist bereits durch den Nobili'schen Fall vorweg abgeschnitten.

In der That, es bleibt uns nur übrig, die organischen Systeme zu mustern, die in einem Unterschenkel, einem Fufse, oder einem anderen möglichst einfachen unter den bisher bekannten thierischen Elektromotoren vorliegen, den Ursprung des Stromes entweder in der Wechselwirkung zweier oder mehrerer, oder in einem einzigen dieser Systeme begründet anzunehmen, und hienach unseren Versuchsplan einzurichten. Jene Wechselwirkung mehrerer Systeme kann in doppelter Weise gedacht werden; erstens als rein physikalischer Art, auf der Berührung ungleichartiger Theile beruhend; zweitens könnte sie verwickelterer, physiologischer Art sein, also z. B. eben auf einen dauernden Einflufs zurückkommen, den die Nerven und Muskeln untereinander wechselweise ausübten. Von der letzteren, rein aus der Luft gegriffenen Annahme kann jedoch begreiflich nicht eher wieder die Rede sein, als bis sich die beiden anderen, der physikalischen Wechselwirkung mehrerer oder des elektromotorischen Vermögens eines einzigen der vorhandenen organischen Systeme als unzureichend zur Erklärung der Erscheinungen erwiesen haben.

---

## §. VII.

## Von der elektromotorischen Unwirksamkeit der Berührung ungleichartiger Gewebe.

So stofsen wir denn zunächst auf die alte Voltaïsche Vorstellung, welche den Froschstrom von der Berührung ungleichartiger Gewebe abzuleiten sucht (S. oben S. 89). Wir haben bereits gesehen, dafs wenigstens nicht das Nervengewebe einerseits, andererseits Muskeln,

Sehnen und Beinhaut hier die ungleichartigen Körper sein würden; denn die Berührung der ersteren auf der einen Seite mit der Salzlösung erwies sich als elektromotorisch gleichgültig. Es bleibt aber die Möglichkeit übrig, dafs die fragliche Wechselwirkung zwischen dem Muskel- und dem Bindegewebe stattfinde, wie unwahrscheinlich eine solche Annahme sich auch bei näherer Betrachtung erweist. Bei der imponirenden Auctorität des Namens indefs, von dem diese Theorie der thierisch-elektrischen Ströme sich herschreibt, und dem allgemeinen und tiefwurzelnden Vertrauen, dessen sie demgemäfs seit langer Zeit bei Physikern und Physiologen geniefst, ist es rathsam, mit den theoretischen sowohl als experimentellen Mitteln, welche heutzutage die Wissenschaft darbietet, einmal an die Prüfung der Grundlagen derselben zu gehen und zu untersuchen, ob denn wirklich die Berührung ungleichartiger Gewebe eine elektromotorische Wirkung mit sich führe.

Was die früheren Erfahrungen betrifft, welche dieser Lehre zur Stütze dienen sollen, so stellt sich bei näherer Betrachtung ihre Beweiskraft als sehr dürftig heraus.

Es versteht sich zunächst von selbst, dafs hier zwei Arten von Versuchen, die gewöhnlich als beweisgebend angeführt werden, ganz ausgeschlossen bleiben müssen. Erstens alle solche, in welche Theile des Frosches selber eingingen, von denen vermuthet werden kann, dafs sie noch Froschstrom entwickelten, wie z. B. die von Heidmann und Bunzen angestellten, die deshalb auch in die Geschichte des Froschstromes verwiesen worden sind (S. oben S. 100). Es ist deutlich, dafs von diesen nur vermöge eines Zirkelschlusses für die Lehre von der Ungleichartigkeit der Gewebe Gebrauch gemacht werden könnte. Fürs zweite alle solche, in denen zwar nicht lebendige Froschtheile, aber dafür auch gar nicht einmal thierische Gewebe, sondern sonst irgendwelche Stoffe organischen Ursprungs, oder wenigstens ein Gewebe einerseits, andererseits ein organischer oder unorganischer Stoff, bei ihrer Berührung oder Vermischung elektromotorisch zu wirken scheinen. Allerdings gestatten dergleichen Erfahrungen Schlüsse zu Gunsten der in Rede stehenden Lehre, insofern solche Stoffe ihrer Natur nach den thierischen Geweben scheinbar näher stehen, als die Metalle und die Kohle nebst den unorganischen Flüssigkeiten, aus denen sonst die Elektromotore zusammengesetzt zu sein pflegen: allein sie müssen unbeachtet bleiben, sobald es sich um wirkliche, thatsächliche Bewährung jener Behauptungen handelt. Dieser Art sind Volta's eigene Versuche, der das Erscheinen der Zuckungen beim Anbiegen des Unterschenkels an den Rumpf, mit dem er nur noch durch die Ischiadnerven zusammenhing, dadurch beförderte, dafs er die Berührungsstellen mit

Blut, Seife, Kleister, beschmierte; [1] Baronio's, welcher eine wirksame Säule aus 60 Paar Scheiben von rothen Rüben und Rettig aufgebaut haben will, zwischen denen sich tellerförmige Scheiben von in Essig digerirtem Nufsbaumholz befanden, deren Höhlung mit einer Lösung von Cremor tartari in Essig (?) angefüllt war; [2] Prévost und Dumas, welche die Berührung zwischen Muskelfleisch und Blut oder Salzwasser, Muskelfleisch, Nerven oder Gehirnmasse und Salpetersäure oder Antimonchlorür am Multiplicator schwach elektromotorisch wirksam fanden; [3] endlich Kämpz's, der trockene Säulen aus Scheiben Conceptpapier schichtete, auf welches er allerlei mit Wasser angerührte oder in demselben gelöste thierische und pflanzliche Stoffe geschmiert hatte, und sie angeblich an Bohnenberger's Elektroskop wirksam fand. [4]

Somit bleiben, meines Wissens, von hiehergehörigen Thatsachen nur noch Lagrave's ältere und Valentin's neuere Behauptungen zurück. Von den letzteren ist schon oben S. 149 die Rede gewesen. Lagrave will eine schwach wirkende Säule aus fünfzig abwechselnd gelagerten Schichten Muskelfleisch von den Brust- und Zwischenrippenmuskeln einer menschlichen Leiche, Gehirnmasse und nassen Filzes erbaut haben. Die Prüfung geschah mittelst des Frosches. [5] Er sagt dabei nicht, ob dieser isolirt gewesen sei oder nicht; ebensowenig, ob die Leiche, von der die Theile genommen waren, bereits den Zustand der Todtenstarre erreicht hatte, oder noch zuckungsfähig war. Es ist demnach erstens sehr möglich, dafs die wahrgenommenen Wirkungen von dem unvermerkt zum Kreise geschlossenen Frosche selbst herrührten; allein sogar in dem Falle, wo dies nicht der Fall wäre, würde dieser Versuch zu keinem Schlusse berechtigen. Denn entweder war die Leiche noch reactionsfähig, und dann wirkten die Stücke Muskel, wie wir sehen werden, möglicherweise noch elektromotorisch, oder sie war bereits todtenstarr, oder gar im Zustande der Fäulnifs nach gelöster Todtenstarre begriffen, und dann hat der beobachtete Erfolg mit unseren thierisch-elektrischen Strömen nichts zu schaffen, die nämlich nur an solchen Leichen bemerkbar sind, welche noch im Besitze ihrer wesentlichen Lebenseigenschaften verharren.

[1] S. oben S. 72.

[2] Gilbert's Annalen der Physik. 1805. Bd. XXII. S. 315.*

[3] Magendie, Journal de Physiologie expérimentale. 1823. t. III. p. 334. 336.*

[4] Schweigger's Journal für Chemie und Physik. 1829. Bd. LVI. S. 1.* — Sternberg hat diese Versuche wiederholt, jedoch die Prüfung der Säulen am Frosch und Multiplicator unternommen, wobei sie unwirksam erfunden wurden. Experimenta quaedam ad cognoscendam vim electricam nervorum atque sanguinis facta. etc. p. 15.*

[5] Gilbert's Annalen der Physik. 1803. Bd. XIV. S. 230.*

Keine einzige von diesen, zum Theil so häufig angeführten Erfahrungen ist demnach stichhaltig. Nicht viel besser steht es nun mit der Theorie selbst des hier angenommenen elektromotorischen Quells. Nicht dafs wir uns auf die Beurtheilung einlassen wollen, inwiefern die Berührung ungleichartiger Gewebe oder ungleichartiger Körper überhaupt elektromotorisch wirken könne oder nicht; die Frage ist viel einfacher die, ob eine solche Berührung hier in der That stattfinde, d. h. ob jemals, bei der scheinbaren Berührung der Gewebe, die ungleichartigen Bestandtheile derselben mit einander in Wechselwirkung zu treten vermögen; oder ob sich der gesammte Vorgang nicht vielmehr darauf beschränke, dafs sich die an der Oberfläche derselben befindlichen, auf Lackmus schwach alkalisch reagirenden Flüssigkeiten mit einander vermengen. Durch diese Vermengung scheint kein merklicher elektromotorischer Vorgang gesetzt werden zu können, denn die allgemeine annähernde Gleichartigkeit jener Flüssigkeiten auf allen Punkten des Körpers liegt wohl am Tage. Dann ist es aber, für die Erzeugung eines Stromes, im Uebrigen völlig gleichgültig, wie die Flüssigkeiten beschaffen seien, die, von allen Seiten von jener gleichartigen Schicht umgeben, an der Grenze der Gewebe nur scheinbar in Berührung zu gerathen vermögen. So kann man eine Zink- und eine Kupferplatte innerhalb der Masse eines Elektrolyten einander gegenüberstellen und nähern, ohne dafs dadurch, wofern sie sich nur nicht in einem Punkte metallisch berühren, eine Wirkung entstände, die wir als Strom wahrzunehmen im Stande wären. Erhielte man gleichwohl unter diesen Umständen einen Strom, indem man an zwei Punkte des flüssigen Leiters die Enden eines gleichartigen Bogens anlegte, so sieht man doch, dafs man denselben niemals von der Berührung der ungleichartigen Gewebe, hier der Metalle, ableiten könnte, da diese eben gar nicht stattfindet, sondern der Grund des Stromes müfste in einem anderen, noch unbekannten Verhältnifs gesucht werden, zu dessen Vermittelung aber unmöglich die Zusammenstellung der beiden ungleichartigen Körper selbst nothwendig sein könnte. Nur in dem Falle also, dafs die Grenzflüssigkeit an der Oberfläche bestimmter Gebilde bestimmte Abänderungen erlitte, welche hier von wesentlicher Bedeutung wären, dafs sie in überwiegendem Mafs alkalisch, oder gar mit saurer Reaction begabt erschiene: nur in diesem Falle liefse es sich erwarten, dafs sich bei Berührung solcher Gewebe untereinander oder mit anderen, deren Grenzflüssigkeit die gemeine schwach alkalisch reagirende Beschaffenheit zeigt, Stromentwickelung kund gebe.

Diese Ansichten haben sich durch meine Versuche vollkommen bestätigt gefunden. Sie wurden am Frosche und mit Hülfe der Bäusche

nach dem nämlichen Plane angestellt, wie die bereits beschriebenen an den thierischen Gliedern selbst. Bei vollkommener Gleichartigkeit der ganzen Vorrichtung wurde der eine Gewebtheil mit dem einen, der andere mit dem anderen Bausch, und alsdann der eine mit dem anderen in Berührung gebracht. Folgende fünf Gewebe wurden, dem Zustande des unversehrten Lebens möglichst nahe, in den Kreis der Versuche gezogen:

Muskel,
Nerv,
Sehne,
Haut,
Knochen,

mit denen alle zu zweien möglichen zehn Combinationen durchgemacht wurden. Das regelmäfsige Ergebnifs war, dafs fast stets, mit wenigen seltenen Ausnahmen, eine geringe Ablenkung der Magnetnadel, innerhalb der ersten $10-12°$, und zwar bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne erfolgte. Die Einzelheiten dieser Versuche können erst später mitgetheilt werden, nachdem wir mit einer Reihe von Erscheinungen bekannt geworden sein werden, wodurch hier ganz besondere Vorsichtsmafsregeln in Betreff der Lagerung der einzelnen Gewebtheile zu einander und auf den Bäuschen bedingt sind. [1] Hier genüge es, auf diesen Umstand aufmerksam gemacht zu haben, da eine Vernachlässigung desselben bei Wiederholung der Versuche allerdings ganz andere, mit den früheren Annahmen besser stimmende Erfolge nach sich ziehen würde.

Dafs der Strom des Gesammtfrosches, des Galvani'schen Präparates u. s. f., nicht unmittelbar auf jene beobachtete Wirkung zurückgeführt werden könne, liegt am Tage, einestheils wegen der Unbestimmtheit der Richtung dieser letzteren, anderntheils wegen ihrer ausnehmenden Schwäche im Vergleich zu den ersteren, welche die Nadel mit Heftigkeit an die Hemmung zu werfen pflegen.

Sehen wir von dem ersteren Umstande ab, und suchen nur den zweiten zu erklären, so zeigen sich uns zwei Auswege. Entweder diese Schwäche ist abhängig von Vergröfserung des Widerstandes in den Versuchen mit einzelnen Gewebtheilen, indem dies bekanntlich der einzige Einflufs ist, den die Verkleinerung der Berührungsflächen zweier ungleichartiger Körper auf die Gröfse des durch diese Berührung irgendwie gesetzten Stromes äufsert; oder sie wird in den ganzen Gliedern durch eine nach Art der Säule vor sich gehende Vervielfältigung verdeckt.

[1] S. unten, Kap. VI, §. 1.

Keine von beiden Annahmen ist jedoch der Wirklichkeit gemäfs. Den gröfsten Widerstand boten, unter den vorstehenden Anordnungen, unstreitig diejenigen dar, in denen ein Stück vom Ischiadnerven in die Kette eingeschaltet war. Nichtsdestoweniger findet man, dafs der stromprüfende Schenkel, oder das der Länge nach in zwei Hälften getheilte Galvani'sche Präparat mit seinem Zubehör an Nerven und einem Stück Wirbelsäule auch durch den Nerven hindurch 90° Ausschlag geben, obschon hier noch der nicht unbeträchtliche Widerstand des Unterschenkels oder gar des ganzen Beines hinzukommt. Was die zweite Annahme betrifft, so ist sie mit den morphologischen Verhältnissen z. B. an einem blofsen Fufse oder Unterschenkel, wie man leicht sieht, unverträglich.

Bei alledem ist endlich noch nicht einmal erwiesen, dafs die bei der Berührung ungleichartiger Gewebe beobachteten geringen Wirkungen in der That diesem Umstande ihren Ursprung verdankten. Ich fand im Gegentheil, dafs fast immer, wenn ich die Lage des einen oder des anderen der beiden in die Anordnung eingehenden Gewebtheile in der Art umkehrte, dafs dasjenige Ende, womit derselbe zuerst den anderen Gewebtheil berührt hatte, nunmehr den Bausch berührte, und umgekehrt, auch die Richtung des Stromes umgekehrt wurde; und dafs dieser Strom sich erhielt, wenn ich den betreffenden Gewebtheil, statt zwischen einem Bausch und einem anderen Gewebtheil, zwischen beiden Bäuschen auflegte. Wenn somit in der Berührung ungleichartiger Gewebe eine elektromotorische Wirkung begründet ist, so ist dieselbe so schwach, dafs sie gegen die äufserst schwache verschwindend genannt zu werden verdient, welche bei der Berührung nur verschiedener Punkte eines und desselben Gewebes unter den hier stattfindenden Umständen bemerklich wird.

Anders verhält es sich, unserer obigen Voraussetzung gemäfs, wenn Gewebe, mit überwiegend alkalischen oder mit sauren Flüssigkeiten getränkt, in den Bereich der Versuche gezogen werden.

So läfst sich schon, wie Matteucci gezeigt hat,[1] und ich bestätigen kann, aus Blut, Wasser und gleichartigen Multiplicatorenden eine recht wirksame Kette nach Art der Becquerel'schen Säure-Alkalikette zusammenfügen, in welcher der Strom, in dem feuchten Leiter, von dem Blute zum Wasser gerichtet ist. Ich bediente mich, wie Matteucci, zweier Gefäfse, deren eines mit destillirtem Wasser, das andere mit Blut — ich nahm frischgeschlagenes Hammelblut, Matteucci Taubenblut »qui avait été agité pour en empêcher la coagulation« (?!) —

[1] Archives de l'Électricité. 1843. t. III. p. 12.* — Traité etc. p. 39.*

gefüllt war, und die ich durch einen mit einer von beiden Flüssigkeiten getränkten baumwollenen Docht verband. Die Multiplicatorenden waren Platinplatten von 9.25 Quadratcentimeter einfacher Oberfläche. MATTEUCCI's fernere Angaben sind falsch. Er sagt: »Si j'employais de »l'eau acidulée avec de l'acide sulphurique au lieu d'eau pure, le cou»rant allait de l'eau acidulée au sang dans la mêche, c'est-à-dire en »sens contraire du courant, obtenu entre le sang et l'eau. Le con»traire a lieu avec de l'eau alcaline au lieu de l'eau acidulée, c'est-à-dire »que le courant va du sang à l'eau alcaline, comme il allait du sang »à l'eau.« Dies Verhalten wäre in der That sehr wunderbar, da es auf der Hand liegt, was MATTEUCCI aber anzugeben versäumt, dafs der Strom vom Blute zum Wasser in der Flüssigkeit von Nichts herrührt, als von der alkalischen Beschaffenheit des ersteren. Wird also das letztere angesäuert, so ist deutlich, dafs sich der Strom in derselben Richtung bedeutend verstärken mufs. In der That reichten, zu diesem Zweck, schon ein Paar Tropfen Schwefelsäure auf ungefähr 0.05$^{L}$ Flüssigkeit hin. Eben so deutlich ist es, dafs man das Wasser leicht so alkalisch machen könne, dafs der Strom sich umkehren mufs: 0.1 käufliche Kalihydratlösung dem Volum nach zum Wasser gesetzt, brachte dies in vollem Mafse hervor.

Die von DONNÉ entdeckten sogenannten elektrochemischen Ströme zwischen sauer und alkalisch reagirenden Absonderungswerkzeugen gehören nun hieher. Es ist oben schon vielfältig die Rede davon gewesen (S. oben S. 26. 109). Es ist gesagt worden, dafs man sie einfach erhalte, indem man die Platinenden des Multiplicators mit den Körperstellen von verschiedener chemischer Beschaffenheit in Berührung bringt. Ich habe DONNÉ's Versuche am Kaninchen häufig wiederholt, seine Angaben in allen Punkten der Wirklichkeit gemäfs gefunden, und kann bestätigen, dafs MATTEUCCI sich gänzlich täuscht, wenn er die Behauptung aufstellt, dafs diese Strömungen mit dem Durchschneiden der Nerven und Blutgefäfse, nach der Enthauptung, der Blausäurevergiftung schwinden, u. d. m.; dafs sie, zwischen Leber und Magen z. B., fortdauern, nachdem die Säure des letzteren durch Alkali abgestumpft worden ist. [1] Vielmehr ist nichts leichter, als durch Bestreichen der Magenwände mit Ammoniak, Kalihydratlösung u. s. w., die Strömungs-

[1] Es ist abermals ein bezeichnendes Beispiel von MATTEUCCI's Verfahren in der Wissenschaft, dafs er, nachdem er DONNÉ's besonnenen Würdigungen gegenüber sich in einer dichtgedrängten Reihe von Abhandlungen mehrere Jahre lang vergeblich abgemüht, den abentheuerlichsten Behauptungen über die elektrische Natur des Absonderungsvorganges Eingang zu verschaffen, nun plötzlich im Traité etc. dieser ganzen Angelegenheit, auch DONNÉ's schöner Entdeckung, die er selbst früher

richtung zwischen beiden Eingeweiden, wie vorher zwischen Wasser und Blut, umzukehren. Ebenso dauern die Ströme noch Tagelang an den ausgeschnittenen und faulenden Körpertheilen fort. Ich kann aber auch der Meinung von Berthold, Wilhelm und Eduard Weber nicht beistimmen, welche, nach Versuchen, die die beiden Letzteren an dem Poggendorff-Gauss'schen Spiegelmagnetometer anstellten, die Bedeutung dieser Ströme in Zweifel gesetzt, und sie von thermoëlektrischen Unterschieden der Platinenden oder der sie umgebenden thierischen Theile abgeleitet haben. [1] Dies stimmt nicht mit dem, was wir von der äufserst geringen elektromotorischen Kraft der thermoëlektrischen Ketten selbst bei viel gröfseren Temperaturunterschieden und den allerwirksamsten Zusammenstellungen von Metallen, und von dem vergleichsweise unermefslichen Widerstande der feuchten Leiter wissen. Auch würde es schwer sein, diese Deutungsweise mit der Regelmäfsigkeit der Richtung zu vereinigen, welche die Donné'schen Ströme, und zwar stets in Bezug auf die chemische Beschaffenheit der Organe und im Einklang mit der Becquerel'schen Säure-Alkalikette zeigen; endlich ist nicht zu begreifen, woher bei dem Versuch an den längst ausgeschnittenen, längst faulenden Eingeweiden, in denen man die Platinenden ruhig stehen lassen kann, noch Temperaturunterschiede herkommen sollen. [2]

Ich schliefse mich daher auch der Donné'schen Ansicht von dem Ursprunge seiner Ströme an. Dabei ist jedoch noch des Umstandes zu gedenken, der von Jenem unbeachtet blieb, nämlich dafs, wie beson-

sehr hoch stellte, mit keiner Sylbe mehr Erwähnung thut, gleich als ob diese Dinge nie dagewesen wären.

[1] Holscher's Hannoversche Annalen für die gesammte Heilkunde. 1837. Bd. II. Heft I. S. 126. — C. Chr. Schmidt's Jahrbücher der in- und ausländischen gesammten Medicin. Jahrgang 1837. Bd. XV. S. 145. No. 116.*

[2] In seinen: »Quaestiones physiologicae de phaenomenis galvano-magneticis »in corpore humano observatis« (Lipsiae [1836]. 4°. p. 20 sqq.*) hat Ed. Weber Ströme als thermoëlektrische beschrieben, welche entstehen, wenn man verschiedene Körpertheile mit dem Boden zweier durch Kupferdraht verbundenen Kupferbecken in Berührung bringt, die mit verschieden warmem Wasser angefüllt sind. Der Strom ist, im Kupfer, von der wärmeren zur kälteren Stelle gerichtet. Obschon es durch Weber's Versuche aufser Zweifel gesetzt ist, dafs die Wirkungen durch die verschiedene Temperatur bedingt waren, so mufs ich doch bekennen, dafs es mir auch hier schwer fällt, mich mit seiner Vorstellungsweise von dem näheren Ursprunge derselben zu befreunden. Ich möchte erst fragen, ob nicht durch die verschiedene Temperatur des Elektrolyten ein verschiedener Angriff auf die Metalle, eine Verschiedenheit ihres Gasüberzuges hervorgebracht werden, welche elektromotorisch zu wirken vermögen. Wie dem auch sei, so scheinen doch dadurch auf keinen Fall die oben zu Gunsten der Donné'schen Ströme angestellten Betrachtungen entkräftet.

ders FECHNER seitdem hervorgehoben hat (S. oben S. 135), der in der Säure-Alkalikette bei ihrer gewöhnlichen Einrichtung, wo gleichartige Metalle in die ungleichartigen Flüssigkeiten tauchen, kreisende Strom viel mehr von der Gegenwart der Metalle, als von der Wechselwirkung der Flüssigkeiten an ihrer beiderseitigen Grenze abhängt, gleichviel wie man sich diesen Einfluſs denken wolle. Die richtigste Vorstellung möchte indeſs diese sein, daſs die Metalle, selbst die edelsten, durch die Berührung der Flüssigkeiten eine Veränderung der Oberfläche erleiden, welche nach der Natur der Flüssigkeiten verschieden ist. Wie dem auch sei, taucht man die Metalle in gleichartige Flüssigkeiten und verbindet diese erst mit den ungleichartigen Flüssigkeiten, so zeigt sich die Kraft des vorher anwesenden Stromes auſserordentlich verringert. Hiedurch geht den von DONNÉ entdeckten Wirkungen ein groſser Theil ihrer Bedeutung ab, da nur ein kleiner Theil derselben als von den Bedingungen des Versuches unabhängig angesehen werden kann, und somit, den in der Einleitung festgestellten Begriffen gemäſs (S. oben S. 4), dem Gebiete der thierischen Elektricität zugehörig bleibt.

Aber auch das Dasein dieses noch übrigen Bruchtheiles wird durch folgende Betrachtung wesentlich gefährdet. Man entsinnt sich des erst kürzlich (S. oben S. 484) in Anwendung gebrachten Gleichnisses: Zwei ungleichartige Metallstücke in eine Masse eines feuchten Leiters versenkt, können nun und nimmermehr zu einem Strömungsvorgange Anlaſs geben, so lange sie sich nicht an irgend einem Punkte, sei's innerhalb, sei's auſserhalb des feuchten Leiters, metallisch berühren. Ganz dasselbe muſs von einer allein aus feuchten Leitern zusammengesetzten elektromotorischen Anordnung gelten. Man denke sich eine mit Salpetersäure, eine andere mit Kalihydratlösung angefüllte Blase unter Salpeterlösung versenkt, und die Wände beider Blasen, die man sich mit den darin enthaltenen Flüssigkeiten durchtränkt vorstellen muſs, miteinander in Berührung; so wird allerdings ein schwacher Strom in der Richtung vom Kali zur Säure durch die Wände der Blasen zugegen sein.[1] Entfernt man dann aber die Blasen voneinander, so wird jede Spur eines Stromes vermiſst werden; es sei denn, daſs man z. B. zwei Platinenden beziehlich in die Säure und das Kali versenkte, wo dann ein viel kräftigerer Strom als vorher, jedoch in der nämlichen Richtung erfolgen würde. Es scheint nun, als ob die Anordnung der ungleichartigen Flüssigkeiten im unversehrten Körper auf allen Punkten vielmehr dem zweiten Fall entsprechend sei, wo die Blasen innerhalb der Flüssigkeit von einander entfernt gehalten werden, als dem erstbeschriebenen, wo

[1] Vergl. unten, Kap. III. §. 1.

ihre Wände mit einander in Berührung sind. Denn es ist mir nicht bewufst, dafs die Oberfläche des Magens und Darmes sauer, oder die der Leber auffallend alkalisch reagirte. Sonach würden die vielbesprochenen Donné'schen Ströme im unverletzten Körper, und ohne experimentelle Hinzuthat, gar nicht vorhanden sein; sie würden, wie an jener schematischen Vorrichtung der Strom bei auseinandergehaltenen Blasen, erst dann zu kreisen beginnen, wenn man metallische Multiplicatorenden in die beziehlich sauer und alkalisch reagirenden Eingeweide versenkte.

Die Ueberlegung, inwiefern den Donné'schen Strömen eine Bedeutung für den Vorgang der Absonderung in dem Sinne zukommen könne, wie die oben S. 26. 27 aufgezählte Reihe von Forschern es muthmafste, ist auf diese Weise im Grunde überflüssig gemacht. Indefs ist leicht zu sehen, dafs dieselbe, im Falle des wirklichen Vorhandenseins solcher Ströme im lebenden Körper, doch sehr zu Ungunsten jener althergebrachten Vorstellungsweise ausfallen würde. Zunächst darf nicht vergessen werden, dafs zur Ausscheidung von Zersetzungsstoffen in irgend beträchtlichem Mafsstabe, stets die Gegenwart von Leitern erster Klasse erforderlich ist. Die von mir wahrgenommenen Spuren einer solchen Ansammlung an den Grenzen festweicher thierischer Gebilde unter dem Einflusse des Stromes einer Grove'schen Säule (S. oben die Versuche über die Peltier'schen Ladungen, S. 379. v) wird man hier nicht zu Hülfe rufen wollen, wenn man die Schwäche der in Rede stehenden Ströme und noch dazu ihre Verbreitung über einen so ausgedehnten Querschnitt erwägt. Dieser Uebelstand liefse sich allenfalls noch mit Hinblick auf die Beständigkeit und grofse Dauer der vorausgesetzten Strömungen beschönigen; aber es ist ferner zu bedenken, dafs die auf den ersten Blick einigermafsen lockende Vorstellungsweise, die einmal vorhandenen Absonderungen bringen einen Strom hervor, der wiederum eine Erneuerung jener zur Folge hat, u. s. f. ins Unbestimmte, überhaupt auf einer falschen Grundlage beruht, da nämlich die elektrolytische Wirkung des Stromes einer Kette aus mehreren feuchten Leitern stets so gerichtet ist, dafs sie vielmehr die Ungleichartigkeiten, von denen derselbe seinen Ursprung erhält, zu verwischen strebt. Es folgt z. B. das Alkali dem positiven, die Säure dem negativen Strome, während der erstere von dem Alkali zur Säure, der letztere von der Säure zum Alkali in der Flüssigkeit gerichtet ist. So fällt, vor dem leisesten Anstofse von jeder beliebigen Seite her, das zwar häufig mit blendenden Farben angemalte, nie jedoch auf seine innere Haltbarkeit untersuchte Gebäude der elektrochemischen Theorie des Absonderungsvorganges zusammen.

## §. VIII.

## Von dem **Muskelstrome** im Allgemeinen, und dem Strome einiger Muskeln des Frosches insbesondere.

Wir haben gesehen, dafs die vorausgesetzte Ungleichartigkeit verschiedener Gewebe nicht ausreichend ist, um die uns bekannten thierisch-elektrischen Strömungserscheinungen zu erklären. Es fragt sich, wohin wir uns jetzt zu wenden haben.

Es ist oben bereits erinnert worden, dafs aufser der Annahme einer verwickelteren, sogenannt physiologischen Einwirkung der Gewebe auf einander, wodurch ein Strom bedingt sein würde, noch die einfachere Möglichkeit übrig bleibt, dafs die einzelnen Gewebe, an und für sich, der Stromentwickelung fähig seien. Nach dem nämlich, was jetzt über den inneren Bau der Gewebe in Erfahrung gebracht ist, hat diese Hypothese keinesweges das Unwahrscheinliche mehr, was z. B. die Vorstellung mit sich bringen würde, dafs eine durchaus gleichartige Metallmasse elektromotorisch zu wirken vermöchte; vielmehr sehen wir in jenem Inneren Cytoblastem, Zellenwände und Zelleninhalt in mannigfaltiger Verschränkung durcheinandergelagert, und auch an regelmäfsigen Wiederholungen, wodurch säulenartige Verstärkung von Elementarwirkungen bedingt sein könnte, würde es nicht fehlen. In der That nun haben wir auch schon eine spurweise Andeutung einer solchen elektromotorischen Wirkung der einzelnen Gewebe oben S. 486 vorgefunden.

Wir haben daher jetzt die verschiedenen Gewebe, welche in die Zusammensetzung eines Unterschenkels oder Fufses eingehen, nacheinander auf einen Strom zu untersuchen.

Mit dem frisch in möglichster Eile zubereiteten und völlig rein geschabten Knochengerüste des Galvani'schen Präparates beginnend, finden wir, dafs zwar selten die Nadel ganz in Ruhe bleibt, vielmehr meist kleine Wirkungen, bald nach dieser, bald nach jener Richtung erfolgen. Indessen ist deutlich, dafs diese Wirkungen nicht den Grund des Froschstromes enthalten können, da sie, abgesehen von ihrem schwankenden Sinne, durch die Bekleidung der Knochen mit Muskelfleisch, d. h. Ueberziehung derselben mit einer dicken Schicht eines feuchten Leiters, wegen der dadurch hergestellten Nebenschliefsung noch eine aufserordentliche Schwächung erleiden. Dies ist auch wohl das Ergebnifs, welches man, vom physiologischen Standpunkte aus das Wesen des Knochengewebes würdigend, an dieser Stelle am ehesten

gewärtigen durfte. Ueberdies scheint es, als ob die beobachteten Wirkungen vielleicht nicht einmal dem Skelet selber wirklich angehörten.

Beim Anstellen dieser Versuche bemerkte ich, dafs dieselben um so geringfügiger ausfielen, je mehr ich mir die Reinigung der Knochen von allen fremden Gewebtheilen, die Bänder ausgenommen, insbesondere aber von Muskelfleisch, hatte angelegen sein lassen. Ich durfte daher erwarten, worauf ich begreiflich schon ein Auge hatte, dafs ich in dem Muskelgewebe endlich einen kräftigen Urheber der thierisch-elektrischen Ströme entdecken würde. Diese Vermuthung fand sich vollkommen bestätigt.

Schneidet man den grofsen Wadenmuskel des Frosches, ohne das Fleisch desselben zu verletzen, an dem oberen und unteren sehnigen Ende los, und legt ihn, wie Fig. 27 Taf. IV zeigt, auf die Bäusche meiner Vorrichtung auf, so verläfst augenblicklich die Nadel den Nullpunkt, und fliegt, einen Strom in dem Muskel von der Achillessehne zum Kopfe, also in derselben Richtung, wie an allen bisher untersuchten Theilen des Frosches anzeigend, wider die Hemmung. Dasselbe leistet der, dem Gastroknemius übrigens äufserst ähnlich gebildete grofse Unterschenkelstrecker an der vorderen Fläche des Oberschenkels.

Es ist keine Frage, dafs wir hier der Ursache des Froschstromes, also der thierisch-elektrischen Ströme überhaupt, bedeutend näher getreten sind. Der Strom, den der Gastroknemius und der Extensor cruris geben, hat durchaus die hinreichende Stärke, um zur Erklärung der Ströme aller Anordnungen verwandt werden zu können, in welche diese Muskeln eingehen; er hat überdies die dazu erforderliche Richtung und auch Beständigkeit derselben. Abgesehen davon dürfen wir erwarten, dafs auch noch andere Muskeln Stromentwickelung zeigen werden. Die Richtung des Stromes war an den beiden erwähnten Muskeln noch immer, wie an den anderen Theilen des Frosches, die aufsteigende; ein Umstand, der uns abermals fast irre machen könnte an den Zweifeln, welche wir bereits, auf Grund der Versuche an anderen Thieren, gegen die wesentliche Bedeutung dieser Richtung beim Frosche geltend gemacht haben. Um so interessanter wird es sein, zu erfahren, ob auch noch bei den anderen Muskeln diese Beharrlichkeit der Strömungsrichtung sich aufrecht erhalten wird.

Beim Auflegen nun verschiedener Oberschenkelmuskeln des Frosches aufs Gerathewohl stöfst man zunächst auf ein scheinbar völlig regelloses Gewirre von Erscheinungen. Von den einen nämlich erhält man gar keine Wirkung, von den anderen Wirkung in aufsteigendem, von noch anderen in absteigendem Sinne. Nicht genug, auch ein und derselbe Muskel giebt, je nachdem man ihn auflegt, dieselben wechselnden

Erfolge. Dasselbe ist der Fall für die Muskeln anderer, sowohl warm- als kaltblütigen Thiere.

Daraus geht hervor, dafs auch wohl bei verschiedenen Muskeln die Verschiedenheit der Wirkungsweise auf der Veränderung der Bedingungen beruhen dürfte, unter denen die Ströme von ihnen gewonnen wurden, da es doch wahrscheinlich ist, dafs sie alle nach einem und demselben Gesetz elektromotorisch wirken. Die Aufsuchung dieses Gesetzes wird den Gegenstand des folgenden Kapitels bilden. Man sieht einstweilen, dafs die in der Aufschrift des vorliegenden enthaltene Zusage erfüllt ist. Der Froschstrom, und die ihm entsprechenden thierisch-elektrischen Ströme, sind auf einen allgemeinen Muskelstrom zurückgeführt. Wir dürfen dieselben, bis auf Weiteres, als die Resultanten aus den verschieden gerichteten und verschieden starken Partialströmen betrachten, welche im Inneren der thierischen Glieder von den einzelnen Muskeln ausgehen. Zu einer physiologischen Wechselwirkung zweier an den Gliedmafsen von einander getrennt vorhandener Gewebe zur Erklärung derselben brauchen wir nun nicht mehr unsere Zuflucht zu nehmen. Die scheinbare Beständigkeit der aufsteigenden Strömungsrichtung endlich ist jetzt auch durch die Erfahrungen am Frosche allein in eine blofse Zufälligkeit aufgelöst.

Wir beschliefsen diesen ersten Schritt, indem wir noch von den besonderen und für den Fortgang unserer Untersuchung wichtigen Eigenschaften Kenntnifs nehmen, welche die Ströme der beiden ersterwähnten Muskeln, des Gastroknemius und des grofsen Unterschenkelstreckers, darbieten. Was nämlich der Frosch unter den Thieren, das Galvani'sche Präparat unter den zusammengesetzten Elektromotoren, das sind diese Muskeln, vornehmlich der Gastroknemius, unter den einfacheren: die am leichtesten zu erhaltenden, am kräftigsten wirkenden, am besten ausdauernden Repräsentanten derselben. Von allen haben sie die unabänderlichste Strömungsrichtung. An sie werden wir uns in der Folge jederzeit zu wenden haben, wo wir der einfacheren Elemente der Froschkette statt des Galvani'schen Präparates in diesem Sinne bedürfen.

Mit Gastroknemien und Unterschenkelstreckern habe ich z. B. denn auch schon, auf die oben S. 442 beschriebene Art, die Jodkaliumelektrolyse durch thierisch-elektrische Ströme nachgewiesen. Zwei kräftige, säulenartig angeordnete Muskeln reichten dazu hin. Der schwarze Fleck erschien stets an dem Drahtende, welches den Muskelköpfen entsprach.

Vom Gastroknemius insbesondere ist noch hervorzuheben, dafs er vor dem Unterschenkelstrecker nicht nur durch die leichtere Darstellung,

sondern auch noch durch den, für viele Zwecke äufserst wichtigen Umstand ausgezeichnet ist, dafs der zu ihm führende Nervenstamm an Länge den des Unterschenkelstreckers um das Doppelte übertrifft. Schon Schwann hatte sich desselben in seinen Versuchen über das Gesetz der Kräfteabnahme bei der Muskelzusammenziehung gleichsam als Typus der willkürlichen Muskeln bedient; [1] und so wird er auch uns in der Folge fast unablässig in dieser Rolle zur Hand gehen.

[1] Joh. Müller's Handbuch der Physiologie u. s. w. Bd. II. 1840. S. 59.

## Zweites Kapitel.

## Vom Gesetze des Muskelstromes.

### §. I.

### Beständige Strömungsrichtung einiger Muskeln.

Der einzige Gesichtspunkt, der uns zunächst offen steht, ist der, dafs der strömungserregende Vorgang in den Muskeln in der Richtung ihrer Längsaxe thätig ist, da wir in der Quere der Gliedmafsen im Allgemeinen keine, oder nur verhältnifsmäfsig schwache Wirkungen beobachteten. Suchen wir demnach, den Strom von den Muskeln unter möglichst vergleichbaren Bedingungen zu erhalten, so ist die am nächsten liegende Anordnung die, dafs man dieselben an ihren beiden Enden nur mit ihren Sehnen mit den Bäuschen in Berührung bringt. Auf diese Weise dürfen wir hoffen, wenigstens von einem und demselben Muskel, und von gleichnamigen Muskeln verschiedener Frösche, einerlei Strömungsrichtung wahrzunehmen, von wo aus sich alsdann vielleicht wird weiter bauen lassen. Diese Anordnung bringt aufserdem den, allerdings jetzt nicht mehr hoch zu veranschlagenden Vortheil mit sich, dafs dabei jeder Verdacht auf den Ursprung der Ströme aus der Ungleichartigkeit zwischen Sehnen- und Muskelgewebe von selbst wegfallen mufs.

Um dieselbe ins Werk zu setzen, dient die oben S. 449 beschriebene, an der Säule des allgemeinen Trägers auf- und nieder bewegliche Klemme Fig. 19 Taf. III, in welche jedoch, statt der bisher darin angewandten länglich viereckten Glastafel, eine solche von der Fig. 28 Taf. I abgebildeten Gestalt eingespannt wird. Diese hat nämlich den Vorzug, dafs sie sich, vermöge ihrer wechselnden Breite, für die Unterstützung von Muskeln von sehr verschiedener Länge in gleicher Weise schickt. An der von mir benutzten hat das gleichschenkelige Dreieck

60$^{mm}$ Höhe und 25$^{mm}$ Grundlinie; die letztere giebt, wie man sieht, zugleich das Mafs für die Seiten des an das Dreieck stofsenden Quadrats an dem hinteren Ende der Platte. Diese ist, der geringeren Verbreitung von Flüssigkeiten auf gefirnifsten Oberflächen halber, mit Bernsteinlack überzogen. Die Muskeln werden so auf ihr gelagert, dafs sie mit ihren sehnigen Enden eben über die Ränder derselben fortragen; jedoch dürfen diese Ränder nicht zugleich mit den Enden von den Bäuschen berührt werden. Es giebt, namentlich am Beckenende der Oberschenkelmuskeln, Fälle, wo der am Muskelende geforderte sehnige Anhang so gering ausfallen würde, dafs man nicht vermöchte, denselben mit den Bäuschen in Berührung zu bringen, ohne das Muskelfleisch dabei mit zu betheiligen, oder wo es nicht einmal möglich ist, einen solchen darzustellen, ohne das Fleisch selbst zu verletzen. In solchen Fällen ist es zweckmäfsig, das Knochenstück, an welches die betreffende Sehne sich anheftet, auszubrechen und anstatt der Sehne zu benutzen. Es kann bei diesem Verfahren jedoch gar nicht genug Sorgfalt in Betreff der Entfernung einer jeden Spur nicht zum Muskel selbst, der Gegenstand der Beobachtung ist, gehörigen Fleisches anempfohlen werden. Der mit diesen verschiedenen Anweisungen verbundene Zweck wird sich, insofern er hier noch nicht deutlich ist, in der Folge ergeben. Fig. 40 Taf. IV zeigt einen in der beschriebenen Weise aufliegenden Oberschenkelmuskel des Frosches, den Sartorius Cuv. (S. folg. S., 2).

Ich gebe im Folgenden die Namen der Muskeln nach Dugès und Cuvier, wie sie sich in des ersteren Preisschrift »*Recherches sur l'Ostéologie et la Myologie des Batraciens à leurs différens âges.*« Paris 1834. 4°. p. 135–137. pl. VI. VII.* finden. S. auch Zenker, »*Batrachomyologia*« Diss. inaug. Jenae 1825. 4°. p. 41 sqq. tab. I. II.*

## 1. Muskeln am Oberschenkel.

1. Triceps Cuv. Pelvi-fémoro-rotulien Dug.

Mit der gemeinschaftlichen Sehne des unteren Endes einerseits, andererseits den Sehnen der drei Köpfe auf einmal aufgelegt, giebt dieser Muskel den aufsteigenden Strom nicht minder kräftig als der Gastroknemius, das Galvani'sche Präparat u. s. f. Mit dem Gastroknemius theilt er übrigens, wie schon bemerkt, die besondere Eigenschaft, auch auf's Gerathewohl aufgelegt stets einen aufsteigenden Strom von grofser Stärke zu geben. Jeder der drei Köpfe, aus denen er besteht, giebt, einzeln aufgelegt, gleichfalls den aufsteigenden Strom, und zwar am stärksten, nahe so stark, wie der Gesammtmuskel, der innere Kopf (vaste interne et crural Cuv.; portion fémoro-rotulienne Dug.), dann

in abnehmender Stärke der äufsere Kopf (vaste externe Cuv., portion sus-ilio-rotulienne Dug.), und der mittlere Kopf (droit antérieur Cuv., portion sous-ilio-rotulienne Dug.), der am schwächsten wirkt. Den beiden letzteren Köpfen müssen an ihren oberen Enden Knochenstücke gelassen werden.

2. Couturier Cuv. Sous-ilio-tibial Dug.

Zeigt sehr regelmäfsig den absteigenden, in einzelnen Fällen jedoch auch den aufsteigenden Strom.

3. Droit interne Cuv. Post-ischio-tibial superficiel Dug.

Zeigt bald den auf-, bald den absteigenden Strom.

4. Troisième ou grand adducteur Cuv. Post-ischio-tibial profond Dug.

Zeigt in vielen Fällen gar keinen Strom. In eben so vielen jedoch den aufsteigenden, äufserst selten den absteigenden Strom.

5. Demi-tendineux Cuv. Bis-ischio-tibial Dug.

Die gemeinschaftliche Sehne des unteren Endes einerseits, und die Sehne der beiden Köpfe andererseits aufgelegt, geben manchmal keinen, manchmal spurweis den aufsteigenden, in der Mehrzahl der Fälle den absteigenden Strom.

Der vordere Kopf, leicht daran kenntlich, dafs sein Fleisch am unteren Ende tiefer hinabreicht, giebt meistens gleichfalls den absteigenden, in einzelnen Fällen den aufsteigenden Strom.

Gerade umgekehrt verhält sich der hintere Kopf.

6. Demi-aponévrotique Cuv. Sus-ischio-poplité Dug.

Am unteren Ende wird das knorpelige Hufeisen aufgelegt, woran sich der Muskel setzt. In vielen Fällen erfolgt der absteigende, in vielen aber auch gar kein Strom.

7. Biceps Cuv. Ilio-péronien Dug.

Meistens giebt er den absteigenden, manchmal den aufsteigenden Strom.

8. Fascia lata Cuv. Sous-ilio-fémoral Dug.

Giebt bald den auf-, bald den absteigenden Strom.

## II. Muskeln am Unterschenkel.

9. Der Gastroknemius (Jumeaux Cuv. Bi-fémoro-plantaire Dug.) hat, wie schon bemerkt, unter allen Umständen den aufsteigenden Strom.

10. Jambier antérieur Cuv. partim. Pré-fémoro-astragalien Dug.

Hat bald den aufsteigenden, bald den absteigenden Strom.

Dies sind die Muskeln des Frosches, die ich in der bezeichneten

Weise untersucht habe. Die Stärke der hier in Rede stehenden Ströme betreffend, verdient noch im Allgemeinen bemerkt zu werden, dafs es sich meist um viel geringere Wirkungen handelt, als die des Gastroknemius und des Triceps war. Diese zwar gaben auch auf diese Weise aufgelegt stets Anschlagen an die Hemmung, allein bereits die Ströme der dickeren Muskeln, des Semimembranosus und Adductor magnus Cuv., erreichen nur in seltenen Fällen 50—60°, meistens halten sie sich innerhalb der ersten 30°, und noch unter ihnen bleiben die Ströme der übrigen kleineren Muskeln, welche oft nur 10—15° Ausschlag betragen.

Man sieht übrigens, die gewählte Anordnung hat den Zweck, den wir uns dabei vorsetzten, nicht erfüllt. Wir sind noch immer zu denselben Ergebnissen gelangt, die sich uns darboten, als wir die Muskeln auf's Gerathewohl, und ohne irgend eine bestimmte Bedingung im Auge zu halten auflegten, mit dem Unterschiede freilich, dafs wir nunmehr die Erscheinungsweise des Stromes an mehreren Muskeln unter einer bestimmten, leicht wiederherzustellenden Bedingung erkannt haben. Allein diese Bedingung selbst kann noch keine übereinstimmende für die verschiedenen Muskeln gewesen sein, da sie so verschiedene Wirkungen nach sich zog; und nur das können wir in Betreff derselben schliefsen, dafs sie, unter den obwaltenden Umständen, eine äufserst leicht verrückbare sein müsse, da die geringen Veränderungen der Gestalt der Muskeln, die wir von einem Thiere zum anderen, oder wohl gar von einem Beine desselben Thieres zum anderen, voraussetzen dürfen, hinreichen, die eine Strömungsrichtung in die andere umzuwandeln oder den erst vorhandenen Strom scheinbar aufzuheben.

---

## §. II.

## Das Gesetz des Muskelstromes.

Da uns solchergestalt durch die Vergleichung verschiedener Muskeln fernerer Aufschlufs versagt zu sein scheint, so möchte es räthlich sein, uns nunmehr an die Untersuchung eines einzigen Muskels unter künstlich abgeänderten Bedingungen zu begeben, und zwar dürfte der Fall eines Muskels, der vor der Hand gar keinen Strom zu entwickeln scheint, den passendsten Ausgangspunkt für dieselbe darbieten.

Die Fig. 29 Taf. IV stelle einen solchen Fall dar. Es fragt sich, wie die Lage des Muskels abgeändert werden müsse, um Stromentwickelung zu erhalten. Man findet sehr bald, dafs diese dann statt hat, wenn man den Muskel so auf den Bäuschen verschiebt, dafs er auf der einen Seite mit Fleisch, auf der anderen mit dem sehnigen Ende berührt. Hebt man nämlich mit der Pinzette das eine Ende des Muskels auf, und lehnt nun, nachdem man durch Gegeneinanderrücken der Zuleitungsgefäfse den Abstand der Bäusche hinreichend verkleinert hat, den Muskel mit dem rothen Fleische gegen den augenblicklich aufser Berührung gebrachten Bausch, wie dies Fig. 30 ebendas. zeigt, so erfolgt ein kräftiger Ausschlag, der einen Strom in dem Muskel von der Sehne zum Fleisch anzeigt.

Bringt man dann, indem man den Abstand der Bäusche wiederum vergröfsert, den Muskel in seine erste Lage zurück, so verhält er sich abermals blofs als unwirksamer leitender Bogen, d. h. es findet durch ihn die Ausgleichung der Ladungen statt, die er während der zweiten Lage auf den Platinenden entwickelt hatte.

Hebt man, nach getilgten Ladungen, in gleicher Weise, wie das erste Mal, das andere sehnige Ende des Muskels ab, und berührt auch hier, statt mit demselben, mit rothem Fleisch unmittelbar, so erfolgt abermals ein Ausschlag, und zwar, im Wesentlichen, in demselben Sinne, d. h. wiederum einen Strom in dem Muskel von der Sehne zum Fleisch anzeigend, im Unwesentlichen jedoch im entgegengesetzten Sinne, d. h. war die erstabgehobene Sehne die des Kopfes, oder war der Strom in diesem Falle ein aufsteigender, so wird er jetzt, bei abgehobener Sehne des Schwanzes, vielmehr als ein absteigender erscheinen, wie dies Fig. 31 zeigt. Man sieht, dafs es solchergestalt völlig in die Willkühr des Beobachters gegeben ist, welche Richtung er dem Strome in Bezug auf die natürliche Lage des Muskels am Körper des Frosches anweisen will. Bringt man ihn zum zweitenmal in seine ursprüngliche Lage zurück, so erfolgt natürlich wieder die Ausgleichung der Ladungen.

In der ursprünglichen Lage des Muskels verhielten sich, wovon wir ausgingen, beide sehnigen Enden gleichartig. Jetzt haben wir ferner gefunden, dafs gewisse Punkte des rothen Fleisches sich ungleichartig, und zwar stets auf dieselbe Weise, gegen die Sehnen verhielten. Der Schlufs wird daher nicht zu gewagt sein, dafs diese Punkte sich ihrerseits gleichfalls wieder untereinander gleichartig verhalten werden. Dies ist in der That der Fall. Man findet, dafs die nämliche Versuchsreihe, wie vorher, sich wiederholen läfst, indem man den Muskel anfangs so auflegt, dafs er die Bäusche nur mit zweien

Punkten des rothen Fleisches berührt, und dann abwechselnd bald das eine, bald das andere sehnige Ende gegen den entsprechenden Bausch sinken läfst: was auf folgende Weise am besten bewerkstelligt wird.

Auf die Ränder der mit Eiweifshäutchen bekleideten Bäusche legt man entweder kleine Stücke Wachstaffent, oder 10$^{mm}$ lange und 2.5$^{mm}$ im Durchmesser haltende Enden Thermometerrohr, an welchen der Axe gleichlaufend eine Fläche angeschliffen ist, auf der sie sicher ruhen, und welche mit Bernsteinlack gefirnifst sind. Die Bäusche befinden sich in verhältnifsmäfsig geringem Abstand von einander, und zwischen denselben ist die Spitze der dreieckigen Glastafel Fig. 28 Taf. I. Fig. 40 Taf. IV (S. oben S. 495) bereit, zur Unterstützung des leicht zwischen beide hindurchsinkenden Muskelbauches zu dienen. Man fafst nun den Muskel mittelst der beiden Pinzetten mit Knochenspitzen (S. oben S. 460) an beiden sehnigen Enden, und legt ihn auf die Bäusche dergestalt auf, dafs er sie beiderseits nur mit rothem Fleisch berührt, indem die Stückchen Wachstaffent, oder die Glasstäbchen die Sehnen von dieser Berührung abhalten: siehe dazu Fig. 32. Bei dieser Art zu schliefsen bleibt in günstigen Fällen das Gleichgewicht der Nadel ungestört. So wie man aber das eine Stückchen Wachstaffent, oder Glasstäbchen entfernt, den Abstand der Bäusche von einander passend vergröfsert, und das entsprechende sehnige Ende wider den Bausch hinabsinken läfst, so erfolgt, wie oben, wo nur der Ausgangspunkt des Versuches ein anderer war, ein Ausschlag, dessen Richtung in Bezug auf Sehne und rothes Fleisch sich durchaus gleichbleibt, der aber einen auf- oder einen absteigenden Strom anzeigt, je nachdem die berührende Sehne die des Muskelkopfes oder die des Muskelschwanzes war.

In dieser Form läfst sich der Versuch übrigens auch mit solchen Muskeln anstellen, welche, beim Auflegen der Kopf- und Schwanzsehne, ursprünglich eine Ablenkung zeigten. Es eignen sich dazu besonders die oben S. 497 unter 2. 3. 4. 6 genannten vom Oberschenkel des Frosches.

Es ist endlich kaum nöthig zu bemerken, dafs das Gleichgewicht der Nadel gleichfalls ungestört bleibt, wenn man den Muskel der Länge lang auf einen schmalen, statt der dreieckigen Glasplatte in die bewufste Klemme eingespannten Glasstreifen von nur etwa 4$^{mm}$ Breite ausstreckt, und ihn dann dergestalt zwischen die Bäusche bringt, dafs er beiderseits nur mit verschiedenen Punkten des rothen Fleisches an seinem Umfange berührt; wie man leicht sieht der einfachere Fall zu der uns schon bekannten Wahrnehmung, dafs die thierischen Glieder der Quere nach keine oder nur unmerkliche Wirkungen von sich geben.

Aus diesen Erfahrungen scheint auf den ersten Blick allerdings

kaum ein anderer Schluſs gezogen werden zu können, als der auf die Ungleichartigkeit des rothen Fleisches und des Sehnengewebes an den Enden der Muskeln. Vollends wenn man sich daran erinnert, daſs wir Fälle sahen, wo das Auflegen beider Sehnen die Nadel in Ruhe ließ, wird man geneigt sein, Zweifel an der Vollgültigkeit des Beweises zu hegen, der in dem vorigen Kapitel betreffend die allgemeine Gleichartigkeit der Gewebe geliefert worden ist. Nichtsdestoweniger würde dieser Schluſs voreilig sein.

In der That ist er, wie man bald findet, mit der viel häufiger beobachteten Thatsache unverträglich, daſs die meisten Muskeln auch dann wirksam sind, und zwar bald in dieser, bald in jener Richtung, wenn man beiderseits nur Sehnengewebe auflegt. Diese Erscheinung verträgt sich im Gegentheil vollkommen gut mit der anderen Möglichkeit, die hier noch übrig bleibt, der nämlich, daſs das Sehnengewebe sich nur als unwirksamer leitender Ueberzug über ein darunter gelegenes, der Substanz des Muskels selbst angehöriges ungleichartiges Element verhalte, und dieses zu ermitteln ist nun zunächst unsere Aufgabe.

Stellt man an einem in warmem Wasser oder in verdünntem Alkohol erhärteten Muskel durch Zerreiſsen oder Zerschneiden in der Richtung der Fasern einen Längsdurchschnitt desselben dar, wozu sich der Wadenmuskel oder der groſse Unterschenkelstrecker abermals vorzüglich eignen, so gewahrt man bald, daſs der sehnige Ueberzug, die Achillessehne z. B. sich kaum über die Punkte hinaus erstreckt, wo sich an denselben die Enden der Primitivmuskelbündel anzusetzen aufhören. Ein Blick auf die Fig. 33 lehrt somit, daſs die Sehne (*ab*) betrachtet werden könne als ein Ueberzug von den bezeichneten Eigenschaften über den **natürlichen Querschnitt** des Muskels, wenn man unter seinem **Querschnitt** eine so beschaffene Flächenbegränzung an demselben verstehen will, daſs darin nur Grundflächen der als Prismen oder als Cylinder gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind. Derselbe Blick zeigt, daſs alsdann das, was wir bisher als rothes Fleisch bezeichneten (*bc*), als der **natürliche Längsschnitt** des Muskels angesehen werden muſs, wenn wir nämlich unter seinem **Längsschnitt** eine so beschaffene Flächenbegränzung an demselben verstehen wollen, daſs darin nur Mäntel oder Seitenflächen der als Cylinder oder als Prismen gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind. Die Annahme, daſs diese beiden Flächenbegränzungen am Muskel, sein natürlicher Längsschnitt und sein natürlicher Querschnitt, sich untereinander ungleichartig verhalten, würde nun augenscheinlich zur Erklärung aller oben

angeführten Erscheinungen hinreichen, und da dieselbe sonst nichts Widersinniges darbietet, können wir uns ihrer, bis auf Weiteres, als eines neuen Ausgangspunktes unserer Forschungen bedienen.

Folgender Versuch scheint geeignet zu sein, Aufschluſs über ihren Werth zu verschaffen. Es ist offenbar von vorn herein wenig wahrscheinlich, daſs die Ungleichartigkeit des natürlichen Querschnitts, wenn es wirklich eine solche giebt, nur an der Oberfläche des Muskels haften solle. Es ist vielmehr viel ansprechender, sich zu denken, daſs sie nichts als der Ausdruck der Ungleichartigkeit des Innern aller Primitivmuskelbündel gegen ihr Aeuſseres, oder sonst irgend einer ähnlichen Vertheilung ungleichartiger Elemente im Innern des Muskels sei. Ist dieses der Fall, so muſs sich auch eine künstliche, durch Querdurchschneiden des Muskels dargestellte Begränzung desselben dem natürlichen Querschnitt ähnlich verhalten. Unbedingt würden wir eine solche Ungleichartigkeit des **künstlichen Querschnittes** gegen den natürlichen Längsschnitt, falls sie sich bewähren sollte, als einen entscheidenden Beweis der Richtigkeit unserer obigen Annahme ansehen dürfen.

Man findet nun in der That, daſs man mit einem durch zwei senkrechte Querschnitte seiner beiden sehnigen Enden beraubten Muskel die ganze obige Versuchsreihe über die Ungleichartigkeit zwischen natürlichem Längsschnitt und natürlichem Querschnitt mit demselben Erfolge durchmachen kann. Man bedient sich dazu am besten wieder der oben bereits bezeichneten Muskeln 2. 3. 4. 6 der S. 497, welche den regelmäſsigsten Verlauf ihrer langen Primitivbündel darbieten; unter ihnen jedoch am vortheilhaftesten das Semimembranosus Cuv. Man giebt diesen Muskeln mittelst zweier Schnitte mit einer scharfen Scheere, die man da führt, wo ihre Dicke völlig gleichmäſsig geworden ist, die Gestalt einer geraden Säule von dem Querschnitt, den der Muskel zeigt. Mit dieser verfährt man nun genau so, wie früher mit dem noch unverletzten Muskel.

Wir lernen zunächst eine dritte Art kennen, den Muskel in den Kreis des Multiplicators aufzunehmen, ohne daſs das Gleichgewicht der Nadel gestört werde. Die erste bestand darin, daſs beiderseits die sehnigen Enden mit den Bäuschen in Berührung gebracht wurden. In der Mehrzahl der Fälle zwar erhielten wir unter diesen Umständen Ausschläge bald in dieser, bald in jener Richtung; nichtsdestoweniger kamen auch solche vor, wo die Nadel in Ruhe blieb. Dann zeigte sich der Muskel unwirksam bei der Ableitung von verschiedenen Punkten des natürlichen Längsschnittes; jetzt findet es sich, daſs er auch beim Anlegen der beiden künstlichen Querschnitte an die Bäusche keinen Strom von

sich giebt. Man breitet den Muskel quer über die dreieckige Glasplatte an einer Stelle von passender Breite, schiebt den einen Bausch gegen den einen Querschnitt hinan, und endlich den anderen Bausch gegen den anderen, so dafs die Fig. 34 abgebildete Lage herauskommt. In günstigen Fällen bleibt alles ruhig. In anderen, und dies ist bei weitem häufiger, entstehen schwache Wirkungen bald in aufsteigendem, bald in absteigendem Sinne. Dies hat seinen Grund zum Theil wohl darin, dafs es äufserst schwierig ist, die Anordnung so auszuführen, dafs nicht auf der einen oder der anderen Seite die Kante zwischen künstlichem Quer- und natürlichem Längsschnitt sich umlege und so der letztere mit dem Bausch in Berührung komme. Geschieht dies am oberen Querschnitt, so ist die Wirkung aufsteigend, geschieht es am unteren, so ist sie absteigend. Viel hängt beim Gelingen dieses Versuches daher von der Frische und dem sogenannten Turgor der Muskelsubstanz, wie auch von der Art und Weise ab, wie die Querschnitte selbst geglückt sind.

Die Untersuchung zweier Punkte eines und desselben Querschnittes oder zweier Punkte verschiedener Querschnitte, entsprechend derjenigen zweier Punkte des natürlichen Längsschnittes ist durch die geringe Ausdehnung der Querschnitte, mit denen wir es zunächst zu thun haben, für jetzt unmöglich gemacht. Ein ganzer Oberschenkel vom Frosche giebt, querdurchschnitten, zwar gleichfalls einen sehr heftigen Strom vom Querschnitt zum Längsschnitt im Muskelfleisch, auch wenn der letztere noch mit der Haut bekleidet ist und gleichviel, ob man mit dem Rumpfende oder dem Fufsende auf diese Weise verfahre. Ein solcher Querschnitt würde allerdings einen beträchtlicheren Flächenraum darbieten. Allein dieses Auskunftsmittel ist unbrauchbar wegen des von Amputationen her bekannten terrassenförmigen Zurückziehens der Muskeln in ihren Scheiden, wodurch hier die Gefahr entsteht, dafs, anstatt Querschnitt allein, irgendwo zugleich Längsschnitt berührt werde. Noch weniger ist begreiflich an ein Ermitteln des gegenseitigen Verhaltens verschiedener Punkte des natürlichen Querschnitts an den bisjetzt untersuchten Muskeln des Frosches zu denken.

Welches auch der Ursprung jener Wirkungen sei, die sich zwischen zwei künstlichen Querschnitten meist unregelmäfsig kund geben, diese Wirkungen sind durchaus verschwindend gegen die ungeheuren Ausschläge, die man erhält, wenn man jetzt, während der eine Querschnitt unverrückt an dem Bausch ruhen bleibt, den anderen abhebt, und an seine Stelle, wie dies die Figuren 35. 36 zeigen, natürlichen Längsschnitt auflegt. Hier nämlich fliegt die Nadel, wenigstens bei den dickeren Muskeln 4. und 6 (S. 497) alsbald auf's heftigste wider die Hem-

mung, einen Strom anzeigend im Muskel vom künstlichen Querschnitt zum natürlichen Längsschnitt, aufsteigend also, wenn der untere Querschnitt liegen blieb und der obere abgehoben wurde, absteigend hingegen, ganz nach Belieben des Beobachters, wenn das Gegentheil der Fall war.

Somit hat sich unsere Hypothese bewährt. Der künstliche Querschnitt verhält sich zum natürlichen Längsschnitt, wie dies der natürliche that. Nicht die Sehne also werden wir in dem letzteren Falle als das ungleichartige Element anzusprechen haben, sondern den darunter gelegenen natürlichen Querschnitt aller Primitivmuskelbündel.

Daraus, dafs zwei sich gleichartig verhaltende Punkte, die beiden sehnigen Enden, sich in gleicher Weise ungleichartig verhielten gegen die Punkte des rothen Fleisches, zogen wir vorher einen nachmals durch den Versuch bestätigten Schlufs auf die Gleichartigkeit dieser Punkte des rothen Fleisches untereinander. Diese Folgerung wiederholen wir jetzt umgekehrt in Betreff des natürlichen und künstlichen Querschnitts. Da sie sich nämlich beide in gleicher Weise ungleichartig gegen die erfahrungsmäfsig gleichartigen Punkte des natürlichen Längsschnitts verhalten, so schliefsen wir daraus auf die Gleichartigkeit jener beiden Arten des Querschnitts.

Die Prüfung dieser Schlufsfolge in der Erfahrung fällt indefs auf den ersten Blick anscheinend weniger befriedigend aus. Ueber die Art und Weise, den Versuch anzustellen, ist nichts zu bemerken. Man erhält in den meisten Fällen mehr oder minder kräftige Wirkungen, welche jedoch nie die Gröfse derjenigen zwischen Längs- und Querschnitt unmittelbar erreichen. Meistens verhält sich dabei der künstliche Querschnitt negativ gegen den natürlichen, was sich aber leicht erklärt, wenn man bedenkt, dafs, während der erstere mit Sorgfalt senkrecht auf die Axe der Primitivmuskelbündel angelegt ist, der letztere stets in mannigfacher Weise gegen den Längsschnitt abgestuft erscheint, so dafs die positive Wirksamkeit dieses sich um einen, wenn auch noch so kleinen Bruchtheil in die negative jenes einmischen mufs: wie man sich erinnert, gerade das, was wir bei Anwendung des Querschnittes eines ganzen Oberschenkels zur Untersuchung des Verhaltens verschiedener Punkte dieser Art von Flächenbegränzung besorgten. Völlig gleichgültig ist für die Wirkungsweise der obigen Anordnung übrigens, welches vorher das Verhalten des natürlichen Querschnittes beim Aufliegen gegen das andere sehnige Ende war, ob der Strom davon ausging, in dasselbe hineinging, oder ob beide sehnige Enden sich gleichartig verhielten. So findet also auch hier nicht entfernterweise ein wesentlicher Bezug der Strömungsrichtung auf Kopf- und Fufsende

statt. In einigen Fällen glückt es übrigens doch, die Nadel bei dieser Anordnung in Ruhe bleiben zu sehen und im Grunde ist demnach der Erfolg sehr nahe derselbe wie beim Auflegen zweier natürlichen Querschnitte gegen einander. Denn auch hier waren, wie wir nicht vergessen dürfen, die Fälle des Gleichgewichtes Ausnahmen von der Regel; das bei weitem Gewöhnlichere war, dafs mehr oder minder starke Wirkungen, bald in absteigendem, bald in aufsteigendem Sinne sich kund gaben. Auch diese, bis jetzt unverständlichen Erscheinungen wird es uns übrigens bald glücken, wenigstens bis zu einem gewissen Grade unter ein allgemeines und einfaches Gesetz zu bringen. Zuvor wollen wir jedoch einen anderen, jetzt sehr nahe liegenden Schritt nicht verabsäumen.

Erwägt man, dafs die Spaltung des Muskels der Richtung der Fasern nach eine ungleich kleinere Verletzung nach sich zieht, als das Durchschneiden senkrecht auf diese Richtung oder die Darstellung eines künstlichen Querschnitts, und dafs der natürliche Längsschnitt und der **„künstliche Längsschnitt"** eine weit gröfsere Aehnlichkeit mit einander haben, als der natürliche und künstliche Querschnitt, so steht zu erwarten, dafs, wie der natürliche Querschnitt durch einen künstlichen Querschnitt, so auch der natürliche Längsschnitt in seiner elektromotorischen Wirksamkeit durch einen künstlichen Längsschnitt ersetzt werden könne; d. h. durch eine mittelst des Messers oder durch Zerreifsen dargestellte so beschaffene Flächenbegränzung des Muskels, dafs sie den oben in unserer Begriffsbestimmung des Längschnitts ausgesprochenen Bedingungen Genüge leistet.

Da es zur Entscheidung der Frage gleichgültig ist, ob der nicht aufliegende Theil des Muskelumfangs von natürlichem oder von künstlichem Längsschnitt begränzt ist, so wird der Versuch beim Frosch am bequemsten so angestellt, dafs man einen der bezeichneten regelmäfsig gefaserten Oberschenkelmuskeln der Länge nach zerreifst und sich der Rifsflächen als künstlichen Längsschnittes wie früher des natürlichen bedient. Das Zerreifsen geschieht, indem man die eine Sehne zuerst mittelst der Scheere genau in der Richtung der Fasern etwas einschneidet, und dann an beide Zipfel gut fassende Pinzetten legt, die man mit einem langsamen aber kräftigen Zuge von einander entfernt. Um dann den natürlichen Längsschnitt zu beiden Seiten des künstlichen zu verhindern, gleichfalls auf die Bäusche bis zur Berührung niederzusinken, bekleidet man diese, oberhalb der Eiweifshäutchen, noch mit Wachstaffentstückchen, welche nur eine schmale Spalte etwa von 1.5 bis 2$^{mm}$ Breite zwischen sich lassen, auf welche man den künstlichen Längsschnitt auflegt. Es fällt indefs, bei einiger Uebung, namentlich an Muskeln gröfserer Thiere, nicht schwer, auch Muskelfleischprismen

darzustellen, die ringsum nur von künstlichen Flächenbegränzungen eingeschlossen sind.

Wie man auch den Versuch anstellen möge, das Ergebnifs ist, dafs der künstliche Längsschnitt gegen den natürlichen oder künstlichen Querschnitt aufgelegt ebenso stark und in demselben Sinne elektromotorisch wirkt als der natürliche Längsschnitt und dafs demgemäfs auch verschiedene Punkte des künstlichen Längsschnitts untereinander sowohl als gegen verschiedene Punkte des natürlichen Längsschnitts aufgelegt sich gleichartig erweisen.

Somit sind wir zur Erkenntnifs des Gesetzes des Muskelstromes in seinen wesentlichsten Zügen gelangt. Die Thatsachen sind, dafs ein beliebiger Punkt des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes sich positiv verhält gegen die gesammte Ausdehnung eines künstlichen Querschnitts und gegen den natürlichen Querschnitt, wie er sich uns bisjetzt an den sehnigen Enden der Oberschenkelmuskeln des Frosches darbot; und dafs sich zwei beliebige Punkte des natürlichen oder künstlichen Längsschnitts untereinander, wie auch die gesammten Ausdehnungen zweier künstlichen Querschnitte gleichfalls untereinander, unwirksam oder gleichartig zeigen. Unwirksam verhalten können sich ferner unter Umständen die Zusammenstellungen zwischen zweien natürlichen Querschnitten, so wie sie durch die Sehnen uns bisher zugänglich waren, und zwischen einem natürlichen und einem künstlichen Querschnitt. In der Mehrzahl der Fälle jedoch erhielten wir von den beiden letzterwähnten Anordnungen Ströme von gröfserer oder geringerer Kraft, und zwar bald in diesem, bald in jenem Sinne. Dies ist der Punkt, den wir jetzt in's Auge zu fassen haben.

Bei näherer Betrachtung des Falles, wo ein unversehrter Muskel die Bäusche beiderseits mit seinen sehnigen Enden berührt, wie dies im vorigen Paragraphen beschrieben wurde, gewahrt man leicht, dafs er sich insofern von dem des Aufliegens mit zwei künstlichen Querschnitten in ihrer ganzen Ausdehnung unterscheidet, als dort, genau genommen, die Ableitung an jedem Ende nur von gewissen Punkten des natürlichen Querschnitts geschieht. So bietet sich uns also, für die Deutung der Wirkungen, die ein Muskel in solcher Lage von sich giebt, die Auskunft dar, dafs vielleicht die verschiedenen Punkte eines und desselben Querschnitts, und die einander nicht entsprechenden zweier verschiedener Querschnitte, sich nicht gleichartig untereinander verhalten. In der That erinnert man sich, dafs wir die Untersuchung dieses Verhaltens, wegen der allzugeringen Mafse der Froschmuskeln, nicht anzustellen wufsten. Es ist aber klar, dafs die beobachtete Gleichartigkeit zweier die Bäusche in ihrer ganzen Ausdehnung berührender

künstlicher Querschnitte mit der oben ausgesprochenen Annahme sehr wohl bestehen kann. Dieser Umstand würde nur beweisen, dafs in beiden Querschnitten die Summe und die Vertheilung der Spannungen zwischen den verschiedenen Punkten eine und dieselbe ist. So müfste sich auch ein metallischer Bogen unwirksam verhalten, dessen beide Enden aus einer und derselben Reihe von Metallen, z. B. Zink, Zinn, Eisen, ... Platin, zusammengesetzt wären. (Vergl. oben S. 208.)

Wir verlassen demnach jetzt, behufs der wichtig gewordenen Untersuchung verschiedener Punkte des Querschnittes, den Frosch, und wenden uns zeitweise einem gröfseren Thiere zu. Es sei nämlich hier sogleich bevorwortet, was sich vom physiologischen Gesichtspunkte aus übrigens leicht gewärtigen liefs, dafs das Gesetz des Muskelstromes, dessen Entwickelung uns so eben in Anspruch nimmt, in gleicher Weise für alle oben erwähnten thierischen Elektromotore gilt.

In Ermangelung gröfserer Amphibien, z. B. der Seeschildkröten, oder der tropischen Saurier, welche hier gewifs die besten Dienste leisten würden, halten wir uns an die hinteren Extremitäten des Kaninchens. Wir ermitteln zunächst, um mit dem einfachsten Falle zu beginnen, das elektromotorische Verhalten verschiedener Punkte eines und desselben künstlichen Querschnitts.

Das Kaninchen mufs erst so eben getödtet sein. Der künstliche Querschnitt wird dargestellt, indem man ein scharfes Fistelmesser oder Pott'sches Bistouri zwischen die Oberschenkelknochen und die denselben nach hinten umgebende Muskelmasse einführt, und diese dann in der Gegend ihrer gröfsten Anschwellung und in kräftig angespanntem Zustande mit einem Zuge, ohne zu sägen oder abzusetzen, durchschneidet; aus den dann frei liegenden Querschnitten wählt man sich den passendsten aus, und legt das Muskelstück, so warm und zuckend als möglich, auf eine hinreichend grofse, in die wagrechte Klemme gespannte und in die Höhe der Bäusche gestellte Glastafel, den Querschnitt nach dem freien Rande derselben zugewendet. Am tauglichsten ist dazu der Triceps femoris.

Hier stofsen wir zum ersten Male auf den Gebrauch der bereits oben S. 223 erwähnten Hülfsbäusche. So zweckmäfsig sich für die Mehrzahl der Fälle die gewöhnliche Gestalt unserer Bäusche erweist, so ist doch deutlich, dafs man damit nicht leicht die vorliegende Frage zur Entscheidung bringen könnte. Hiezu sind Bäusche von der in Fig. 37 in *BB'* abgebildeten Gestalt nothwendig. Sie bestehen nur aus wenigen Lagen Fliefspapier, und sind, was sich von selbst versteht, wie die gewöhnlichen Bäusche und die Zwischenbäusche mit gesättigter Kochsalzlösung getränkt. Ihre breiteren Enden kann man entweder

zwischen die Lagen der gewöhnlichen Bäusche einklemmen, oder sie auch nur auf ihrer oberen Fläche vermöge ihrer Feuchtigkeit anhaften machen, und mit ihren Spitzen alsdann, wie es die Figur zeigt, den Querschnitt des aufliegenden Muskels Punkt für Punkt durchmustern.

Das Ergebnifs dieser Untersuchung ist nun wirklich Ungleichartigkeit der verschiedenen Punkte des Querschnitts. Um das Gesetz derselben klar zu machen, wollen wir zunächst annehmen, der Querschnitt habe die Gestalt eines Kreises. Man findet alsdann ganz allgemein, dafs sich die dem Kreisumfang oder dem Längsschnitt näheren Punkte zu den dem Mittelpunkte des Querschnitts näheren wie Punkte des Längsschnittes selbst, also positiv verhalten. Punkte, welche vom Mittelpunkte gleich weit abstehen, verhalten sich hingegen gleichartig. Alle mit dem Kreisumfang concentrischen Kreise im Querschnitt können also als Curven gleicher Spannung betrachtet werden. Wie sich diese verziehen, wenn der Umfang des Querschnittes selbst aufhört ein Kreis zu sein, liegt begreiflich ganz aufser unserem Ermessen. Nur das ist sicher, dafs alsdann gröfsere Nähe oder Entfernung vom Mittelpunkte nur innerhalb gewisser Grenzen der Verzerrung mafsgebend für die Positivität oder Negativität eines Punktes gegen einen anderen bleiben werden. Es wird vorkommen können, dafs zwei gleichweit vom Mittelpunkte entfernte Punkte, statt gleichartig, ungleichartig erscheinen, ja, darüber hinaus sogar, dafs ein dem Mittelpunkte näherer Punkt sich positiv verhält gegen einen, auf einem anderen, längeren Radius vector entfernter davon gelegenen. Wir wollen uns indefs, des einfacheren Ausdrucks in unseren ferneren Erörterungen halber, damit begnügen, auf diesen Umstand aufmerksam gemacht zu haben, und in der Folge lieber stets von der Vorstellung eines kreisförmigen Umfanges des Querschnittes stillschweigend ausgehen, so dafs wir von näher und entfernter vom Mittelpunkte gelegenen Punkten als einander elektromotorisch nicht entsprechenden, von solchen, die von jenem gleich weit entfernt sind, als entsprechend gelegenen reden werden.

Fig. 38 zeigt uns nun das Verhalten der verschiedenen Punkte eines künstlichen Querschnittes des Triceps femoris vom Kaninchen. Die mit I bezeichneten Punkte sind positiv gegen die mit II und III bezeichneten, die mit II bezeichneten negativ gegen die mit I und positiv gegen die mit III bezeichneten, endlich diese negativ gegen die beiden ersteren. Die Punkte jeder Zahl hingegen sind untereinander gleichartig. Stöfst irgendwo der künstliche Querschnitt an natürlichen Querschnitt, so findet ein besonders lehrreicher Umstand statt. Die Gleichbedeutung beider Querschnitte tritt nämlich dann darin hervor, dafs der elektromotorische Mittelpunkt nicht mehr mit dem

geometrischen Mittelpunkte des künstlichen Querschnittes zusammenfällt, sondern nach der durch natürlichen Querschnitt begrenzten Seite verschoben erscheint. Gleichgültig ist es dagegen, was sich nach dem Obigen von selbst versteht, ob der den Querschnitt begrenzende Längsschnitt natürlicher oder künstlich dargestellter ist.

Von einigen Unregelmäfsigkeiten, welche sich bei diesen Versuchen leicht einfinden, jedoch nichts mit dem Gesetze zu schaffen haben, sondern vielmehr eine Eigenthümlichkeit in der Erscheinungsweise des Muskelstromes warmblütiger Thiere ausmachen, wird später die Rede sein. [1]

Endlich ist von der Stärke dieser Ströme zwischen verschiedenen Punkten des künstlichen Querschnittes zu erwähnen, dafs sie der der Ströme, die durch Berührung von natürlichem Längs- und künstlichem Querschnitte selbst erhalten werden, aufserordentlich nachsteht. Während in dem letzteren Falle die Nadel unfehlbar an die Hemmung fliegt, betragen die vom Querschnitt allein ausgehenden Wirkungen gemeiniglich nur zwischen 10 und 25°, selten übersteigen sie 35°. Sollte es aber gelten, sehr lebhafte Ausschläge auf diese Weise zu erzeugen, so hat man in dem hier dem Umlegen auf den Bäuschen (S. oben S. 242) entsprechenden Verfahren stets ein Mittel zur Hand, die Nadel auf 60°, ja noch weiter zu treiben. Man braucht dann nur, während sie im Rückschwung begriffen ist, plötzlich den Querschnitt so gegen die Spitzen der Hülfsbäusche zu verschieben, dafs der ursprünglich dem Mittelpunkte näher befindliche Punkt jetzt der entferntere wird und umgekehrt, wo sich denn Rückschwung, ursprünglicher Strom nach der anderen Richtung und Ladungen zu einer kräftigen Einwirkung auf die Nadel vereinigen.

Um auch an einem natürlichen Querschnitt die Gegenwart und das Gesetz der Ungleichartigkeiten, wie wir sie an dem künstlichen aufgefunden haben, unmittelbar nachzuweisen, dienen die Sehnenspiegel der Gastroknemii und des Soleus vom Unterschenkel des Kaninchens. Um dieselben in die passende Lage zur Untersuchung, entsprechend der des künstlichen Querschnitts im vorigen Versuch, bringen zu können, wurden die Muskeln mit ihren beiden sehnigen Enden mit Nadeln an ein Stück Kork festgestochen, welches nachher eine beliebige Aufstellung zuliefs. Die Ermittelung des elektromotorischen Verhaltens geschah abermals, auf die nämliche Weise, mittelst der spitzen Hülfsbäusche. Der Erfolg war genau derselbe. Fig. 39 zeigt denselben in eben der Art, wie in der vorigen Figur für den künstlichen Querschnitt, dar-

[1] S. unten, Kap. V. §. 1.

gestellt. Die dem Längsschnitt näheren Punkte sind positiv gegen die dem Mittelpunkte des natürlichen Querschnitts näher gelegenen; entsprechend zu Längsschnitt und Mittelpunkt gelegene Punkte hingegen so gut wie unwirksam, also als gleichartig zu betrachten. Auch hier sind die Wirkungen schwach gegen diejenigen, die man bei unmittelbarer Verbindung des Längs- und des Querschnitts erhält. Das oben für den künstlichen Querschnitt ausgesprochene Gesetz gilt folglich auch für den natürlichen Querschnitt.

Wir haben demnach, was wir suchten, erreicht, einen Ableitungsgrund für die Wirkungen, die man in der Mehrzahl der Fälle von den Muskeln beim Berühren ihrer beiden sehnigen Enden erhält. Denn da alle künstlichen Querschnitte desselben Muskels in ihren verschiedenen Punkten dem nämlichen Gesetze des elektromotorischen Verhaltens gehorchen, und da die gesammte Ausdehnung eines künstlichen Querschnittes sich gleichartig verhält mit der eines jeden anderen, so kann kein Zweifel sein, dafs sich ein dem Längsschnitt näherer Punkt eines natürlichen oder künstlichen Querschnitts positiv verhalten werde gegen einen davon entfernteren Punkt eines anderen, sei's künstlichen, sei's natürlichen Querschnitts desselben regelmäfsig gefaserten Muskels; gleichartig hingegen mit einem in diesem Querschnitt entsprechend gelegenen Punkte. Liegt der erste Punkt in dem oberen, der zweite in dem unteren Querschnitt desselben Muskels, so wird also, in dem ersteren Falle, der Strom in dem Muskel scheinbar aufsteigend sein; das Gegentheil findet statt, wenn der Punkt des unteren Querschnitts der dem Längsschnitt näher gelegene ist. Die Abwesenheit eines Stromes in einzelnen Fällen beweist also hienach nur, dafs alsdann entsprechende Punkte der natürlichen Querschnitte berührt worden seien.

Nichtsdestoweniger schien es nicht unnütz, die Richtigkeit dieser Folgerungen noch durch besondere unmittelbar darauf gerichtete Erfahrungen zu erweisen. Hiezu war nichts weiter nöthig, als die so eben an einem einzigen, sei's natürlichen, sei's künstlichen Querschnitte eines gröfseren Muskels angestellten Versuche statt dessen an zweien dergleichen Querschnitten eines und desselben Muskels auf entsprechende Art zu wiederholen. Wir haben, wie man sieht, drei Anordnungen zu prüfen, nämlich erstens das Verhalten zweier Punkte an zwei künstlichen, dann an zwei natürlichen Querschnitten, und endlich an einem künstlichen und einem natürlichen Querschnitte desselben Muskels.

Die Einrichtung der Versuche bietet keine Schwierigkeit dar. Die zu untersuchenden Flächen werden von beiden Seiten her mit den Spitzen der Hülfsbäusche berührt, die man zu diesem Behufe um 90° gedreht hat, so dafs sie, statt zur Seite, einfach nach vorn als Verlängerungen

der gewöhnlichen Bäusche hervorragen. Das durch zwei künstliche Querschnitte begrenzte Muskelstück (vom Semitendinosus des Kaninchens) wird quer über eine in die wagrechte Klemme eingespannte Glastafel von passender Breite gelagert. Für den zweiten Versuch bedient man sich des Soleus desselben Thieres. Man spannt ihn, seine Sehnenspiegel in senkrechter Lage, zwischen zweien festen Punkten an seinen sehnigen Enden aus, so dafs man auf der einen Seite sich seinem unteren, auf der anderen seinem oberen Sehnenspiegel mit der Spitze eines Hülfsbausches bequem nähern kann. Die dritte Anordnung ist, aus sogleich einleuchtenden Gründen, gar nicht ins Werk gesetzt worden.

Diese Versuche gelingen nämlich nur in höchst unvollkommener Weise. Man erhält allerdings Ströme, deren Stärke derjenigen der Ströme entspricht, die sich zwischen den Punkten eines und desselben Querschnitts kund geben. Man findet auch, dafs die Richtung dieser Ströme abhängig ist von der Lage der beiden, mit den Spitzen der Hülfsbäusche berührten Punkte, so dafs sie bald als die aufsteigende, bald als die absteigende erscheint. Allein nur bei der ersten Anordnung, wo beide Punkte zweien künstlichen Querschnitten desselben Muskels angehören, gelingt es in einigen seltenen Fällen, Spuren des für die Ströme zwischen Punkten eines und desselben Querschnitts gefundenen Gesetzes wiederzuerkennen. Für die zweite Anordnung bereits ist dies gar nicht mehr der Fall. Von der dritten vollends war nichts zu gewärtigen.

Es wäre voreilig, auf Grund dieses mangelhaften Erfolges die Vorstellungsweise, deren Zulässigkeit er zu stützen bestimmt war, als in der Wirklichkeit nicht begründet bereits verwerfen zu wollen. Jene Abweichungen der Ströme von dem Gesetze sind vielmehr ganz einfach auf Rechnung der eben so grofsen Abweichungen der Muskeln von der regelmäfsigen Gestalt zu bringen, die wir als unerläfsliche Bedingung für die Wahrnehmung gesetzmäfsiger Wirkungen stillschweigend voraussetzten, ja sie erscheinen diesen gegenüber ganz in der Ordnung. Die Muskeln und Bruchstücke von Muskeln, deren wir uns bedienten, sind im Grunde zu diesen Versuchen untauglich. Man findet sie stets, meistens von oben her, mit Sehnen durchwachsen, an welche sich ein Theil der Primitivbündel anheftet, deren Querschnitt man in dem unteren natürlichen oder künstlichen Querschnitt vor sich hatte, so dafs, bei morphologisch einander nicht entsprechenden Punkten beider Querschnitte, die Forderung, die wir an die elektromotorische Erscheinungsweise richteten, in der That eine unmögliche war. Diese Versuche sind demnach an anderen Muskeln gröfserer Thiere, welche einen zu diesem Behufe geeigneten, völlig regelmäfsigen Bau besitzen, zu wieder-

holen. Leider muſs ich sagen, daſs mir dergleichen Muskeln bis jetzt noch nicht zugänglich geworden sind; die schwierige Uebertragbarkeit meiner Vorrichtungen von Ort zu Ort hat mich verhindert, die reichen Hülfsmittel in Anspruch zu nehmen, welche mir in dieser Hinsicht gewiſs die hiesige Thierarzneischule, der ich sonst schon vielfach verpflichtet bin, dargeboten hätte.

Eben so wenig, wie aus dem Miſslingen dieser Versuchsreihe, ergiebt sich etwas gegen die in Rede stehende Deutung der von den Muskeln durch Berührung ihrer beiden sehnigen Enden erhaltenen Ströme aus dem Umstande, daſs wir in den meisten Fällen, ja fast immer, unvermögend sind, den Zusammenhang zwischen der beobachteten Strömungsrichtung und der Lage der Ableitungspunkte zu durchschauen. Denn auch hier ist dies durchweg durch die verwickelten morphologischen Bedingungen so gut wie unmöglich gemacht. Wir müssen es bei der Bemerkung bewenden lassen, daſs der Sartorius Cuv. vermuthlich deshalb den absteigenden Strom giebt, weil er an seinem unteren Ende einen Punkt des natürlichen Querschnitts der Berührung darbietet, der äuſserst nahe an den natürlichen Längsschnitt grenzt, während an seinem oberen Ende mehr die mittlere Gegend des Querschnittes zur Ableitung kommt (S. Fig. 40); und daſs der Semimembranosus und Adductor magnus Cuv., die einzigen Muskeln, die sich unter diesen Umständen zuweilen stromlos zeigen, dieses Vorrecht wahrscheinlich dem Umstande verdanken, daſs sie zugleich diejenigen sind, deren sehnige Enden den regelmäſsigsten Bau von allen Muskeln besitzen. So gut wie unverständlich sind hingegen nach diesen Grundsätzen die äuſserst kräftigen aufsteigenden Ströme, die man vom Gastroknemius und dem Extensor cruris bei Berührung ihrer beiden sehnigen Enden erhält. Denn hier scheint es vielmehr, als müſste Gleichgewicht, oder nahezu, die Folge sein; indem sowohl am oberen als am unteren Ende die beiden abgeleiteten Punkte der Grenze zwischen Längs- und Querschnitt ungefähr entsprechen. Möglicherweise ist die Anordnung die, obgleich man den Grund davon nicht einsieht, daſs die obere Sehne sich durchaus als Punkt des Längsschnitts, die untere als Punkt des Querschnitts verhält; wenigstens stimmt mit dieser Deutung die sonst ganz unverhältniſsmäſsige Stärke der Ströme, denen kein anderer Strom zwischen Punkten des natürlichen Querschnitts gleichkommt, am besten überein. In dem Fig. 27 dargestellten Fall des Aufliegens des Gastroknemius ist es hingegen klar, daſs die Ableitung unmittelbar vom natürlichen Längsschnitt oberhalb und dem natürlichen Querschnitt unterhalb geschieht; daher, wie auch beim Unterschenkelstrecker, der mächtige aufsteigende Strom. Er findet hier unter allen Umständen statt, wie man auch die

Muskeln der Länge nach verschieben möge, weil sie eben, vermöge ihres Baues, auf allen dergestalt zugänglichen Punkten nur immer oberhalb rothes Fleisch, unterhalb die Ausbreitung der Sehne, den natürlichen Querschnitt, darbieten. Es ist aber nichtsdestoweniger leicht, auch vom Gastroknemius und dem Unterschenkelstrecker absteigende Ströme zu erwirken. Hiezu ist nur nöthig, an dem oberen Ende dieser Muskeln einen künstlichen Querschnitt herzustellen, und diesen gegen das untere Ende, die Achillessehne oder die grofse Strecksehne des Kniegelenkes, ja sogar die Ausbreitungen dieser Sehnen, welche natürlichen Querschnitt verdecken, aufzulegen: es findet, in letzterem Falle gemäfs dem oben S. 504 Gesagten, eine mehr oder weniger lebhafte Wirkung in entgegengesetzter Richtung von der gewöhnlichen statt. Was aber diese selbst betrifft, so mag sogleich noch bevorwortet werden, dafs wir in der Folge leider noch mehrmals gezwungen sein dürften, uns auf diese Weise mit der allgemeinen Vorstellung zu begnügen, wie gewisse Wirkungen zu Stande kommen können: auf ein Eindringen des Verständnisses in das Einzelne der Erscheinungen hingegen, wenigstens fürs Erste, Verzicht zu leisten.

Und somit Manches in einem unerfreulichen Helldunkel zurücklassend, was wohl der Aufklärung werth wäre, schreiten wir in der Erforschung des Gesetzes des Muskelstromes einstweilen weiter fort. Wir haben oben der Meinung ohne Anstand Glauben geschenkt, dafs die Punkte des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes sich untereinander durchweg gleichartig verhalten. Dies Ergebnifs scheint jetzt, den erkannten Ungleichartigkeiten verschiedener Punkte des Querschnitts gegenüber, verdächtigt. Die Betrachtung der Fig. 32, welche einen mit verschiedenen Punkten des Längsschnitts unwirksam aufliegenden Muskel darstellt, entkräftet diesen Verdacht nicht. Sie führt uns vielmehr klar die Möglichkeit vor Augen, dafs wir es dabei mit einem ähnlichen besonderen Falle des Aufliegens zu thun gehabt hätten, wie ihn das unwirksame Aufliegen des Semimembranosus oder Adductor magnus mit beiden sehnigen Enden darbot. Denn, wie man sieht, sind beide dort die Bäusche berührenden Punkte entsprechend zu beiden Querschnitten des Muskels und zu dem geometrisch mittleren Querschnitt desselben gelegen; gerade dies ist aber die Lage, in der wir, nach dem Vorbilde des Gesetzes der Ströme zwischen verschiedenen Punkten des Querschnitts, auch hier keine Wirkung gewärtigen würden. Es mufs demnach versucht werden, ob sich für die schwachen Ströme, die wir beim Auflegen des Muskels in jener Stellung bereits erhielten und als nicht zu beherrschende Zufälligkeiten nicht

weiter beachteten, nicht vielleicht ein ähnliches Gesetz herausstelle, wie für die Ungleichartigkeiten des Querschnitts.

Wirklich ist dieses der Fall. Es zeigt sich, dafs ein dem geometrisch mittleren Querschnitt des Prismas, das der Muskel vorstellen mag, näherer Punkt sich positiv verhält gegen einen davon entfernteren, dem Querschnitt näher gelegenen Punkte des Muskelumfangs, wie dies die Figuren 41. 42 zeigen. Es ist dabei gleichviel, ob der eine und der andere Punkt zwischen dem geometrisch mittleren Querschnitt und dem einen Endquerschnitt, oder ob der eine diesseits, der andere jenseits des geometrisch mittleren Querschnittes gelegen ist (S. die Figg. 43. 44). Der Strom ist nach Belieben aufsteigend oder absteigend, zufolge Bedingungen, die jetzt Jeder leicht selbst ermessen kann. Symmetrisch zum geometrisch mittleren Querschnitt und beiden Endquerschnitten gelegene Punkte erweisen sich als nahezu unwirksam oder gleichartig. Die Stärke dieser Ströme zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnitts, deren Gesetz sich somit vollständig an das der Ströme zwischen Längs- und Querschnitt und zwischen verschiedenen Punkten des Querschnitts anschliefst, ist nur sehr gering im Vergleich zu der der ersteren, und stellt sich vielmehr der der letzteren zur Seite. Auch hier kann der Kunstgriff des Umlegens, um schwache Wirkungen deutlicher hervortreten zu lassen, gute Dienste leisten (S. oben S. 509). Ein Umstand, der bemerkt zu werden verdient, ist der, dafs eigentlich nur in seltenen Fällen, welche aber gewifs als mafsgebend zu betrachten sind, die unwirksamen oder gleichartigen Punkte mit einiger Genauigkeit symmetrisch zum geometrisch mittleren Querschnitt gelegen sind, so dafs man sagen kann, der elektromotorisch mittlere Querschnitt falle mit dem geometrisch mittleren zusammen. Meistens gehen sie etwas auseinander, d. h. der elektromotorisch mittlere Querschnitt erscheint bald nach der einen, bald nach der anderen Seite verschoben, oder mit anderen Worten, um keine Wirkung vom Muskel zu erhalten, mufs man zwei ungleich weit von seiner Mitte, statt zwei gleichweit davon entlegene Punkte des Längsschnitts mit den Bäuschen in Berührung bringen.

Aehnliche Erfahrungen glückten, jedoch freilich in minder vollständiger und schlagender Weise, auch am künstlich durch Zerreifsen dargestellten Längsschnitt und sogar bei Verbindung von Punkten des künstlichen mit Punkten des natürlichen Längsschnitts. Am zweckmäfsigsten zu diesen Versuchen allen erweisen sich immer wieder die Muskeln 2. 3. 4. 6 vom Oberschenkel des Frosches (S. oben S. 497); allein auch an Kaninchenmuskeln habe ich das Gesetz der Ströme des Längsschnitts durchaus bestätigt gefunden. Dies also war der Grund

der kleinen scheinbar unregelmäfsigen Wirkungen, die wir oben S. 500 beim Auflegen der Muskeln in der Fig. 32 abgebildeten Weise erhielten.

Wir sind jetzt im Stande, dem Gesetze des Muskelstromes einen hinreichend vollständigen Ausdruck zu verleihen, um durch denselben erschöpfende Auskunft über das elektromotorische Verhalten aller nur möglichen Zusammenstellungen von Punkten des natürlichen und künstlichen Längs- und Querschnittes zu ertheilen. Um diesen Ausdruck zu vereinfachen und übersichtlicher zu machen, mag zunächst daran erinnert werden, dafs die wirksamen unter jenen Zusammenstellungen nach der Stärke der dadurch bedingten Ströme eine wichtige Unterabtheilung zulassen. Die Ströme zwischen verschiedenen Punkten einer und derselben Art der Flächenbegrenzung am Muskel sind, ihrer Stärke nach, im Mittel durch eine weite Kluft von denjenigen Strömen getrennt, die man durch Verbindung zweier Punkte aus beiden Arten der Flächenbegrenzungen erhält. Die Wirkungen zwischen natürlichem Längsschnitt und künstlichem Querschnitt der dickeren Muskeln sind überhaupt die stärksten, die an thierischen Elektromotoren, ohne Zuhülfenahme der säulenartigen Anordnung, beobachtet werden mögen. Die bei Anwendung des künstlichen Längsschnitts oder des natürlichen Querschnitts statt des natürlichen Längsschnitts oder des künstlichen Querschnitts wahrzunehmenden geben jenen wenig nach. Dann folgen in weitem Abstande die Ströme zwischen verschiedenen Punkten von Querschnitten und die zwischen dergleichen des Längsschnitts. Nur die beim Berühren der beiden sehnigen Enden des Gastroknemius und des Extensor cruris erfolgenden Ausschläge würden eine Ausnahme hinsichtlich der Stärke unter den Strömen zwischen verschiedenen Punkten des natürlichen Querschnitts machen, wodurch jener Sprung als minder schroff erschiene, wenn man ihnen überhaupt diesen Platz zugestehen will. Allein ich bin der Meinung, dafs gerade dieser Umstand uns berechtigt, ihnen vielmehr eine Stelle unter den Strömen zwischen Punkten des Längs- und Querschnitts unmittelbar anzuweisen.

Das Gesetz des Muskelstromes gestaltet sich somit folgendermafsen:

## Gesetz des Muskelstromes.

### *I. Wirksame Anordnungen.*

#### A. Starke Ströme.

»Wird ein beliebiger Punkt des natürlichen oder »künstlichen Längsschnittes eines Muskels mit einem gleich-

»falls beliebigen Punkte des natürlichen oder künstlichen »Querschnittes desselben Muskels dergestalt in Verbindung »gebracht, dafs dadurch keine Spannung gesetzt wird: »so zeigt eine in den unwirksamen leitenden Bogen ein»geschaltete stromprüfende Vorrichtung gleichwohl einen »Strom an, der von dem Punkte des Längsschnittes in »dem Bogen zu dem Punkte des Querschnittes gerichtet ist.«

## B. Schwache Ströme.

### *a. Ströme des Querschnittes.*

»Wird ferner ein Punkt eines natürlichen oder künst»lichen Querschnittes eines Muskels auf die nämliche Weise »in Verbindung gebracht mit einem anderen Punkte des»selben Querschnittes, oder einem Punkte eines anderen »natürlichen oder künstlichen Querschnittes desselben Mus»kels, den wir als Cylinder denken wollen, und sind »beide Punkte von dem Mittelpunkte der Kreise, die die »senkrecht auf die Axe des Cylinders gedachten Quer»schnitte darstellen, ungleich weit entfernt: so zeigt die »stromprüfende Vorrichtung abermals einen Strom an, der »aber viel schwächer als der vorhergehende, und von »dem weiter vom Mittelpunkte entfernten Punkte, in dem »Bogen, zu dem ihm näher gelegenen gerichtet ist.«

### *b. Ströme des Längsschnittes.*

»Wird drittens ein dem geometrisch mittleren Quer»schnitte des Cylinders, den der Muskel vorstellt, näher »gelegener Punkt des natürlichen oder künstlichen Längs»schnittes auf die nämliche Weise in Verbindung gebracht »mit einem entfernter von jenem Querschnitte gelegenen »Punkte des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes »desselben Muskels: so zeigt die stromprüfende Vorrich»tung abermals einen Strom an, der viel schwächer ist »als der zwischen beliebigen Punkten des natürlichen

»oder künstlichen Längs- und Querschnittes, dem zwischen »verschiedenen Punkten eines oder zweier natürlichen oder »künstlichen Querschnitte aber an Stärke gleichkommt, »und von dem dem mittleren Querschnitte näher gelegenen »Punkte, in dem Bogen, zu dem davon entfernteren ge»richtet ist.«

## *II. Unwirksame Anordnungen.*

»Die stromprüfende Vorrichtung bleibt hingegen in »Ruhe, wenn die beiden durch den unwirksamen leiten»den Bogen verbundenen Punkte auf einem oder zweien »natürlichen oder künstlichen Querschnitten gleichen Ab»stand vom Mittelpunkte, oder auf dem natürlichen oder »künstlichen Längsschnitte gleichen Abstand vom mittle»ren Querschnitte haben.«

Ich füge, zum leichteren Verständnisse dieses wichtigen Gesetzes, die Fig. 45 — 49 Taf. V dargestellten fünf Schemata bei. Der Muskel ist in denselben durch den rectangulären Längsdurchschnitt des Cylinders dargestellt, als welchen wir ihn uns denken. Die natürlichen und künstlichen Flächenbegrenzungen sind aufser durch die Anfangsbuchstaben ihrer Bezeichnungen, die ersteren durch ausgezogene, die letzteren durch nur punctirte Linien unterschieden. Fig. 45 zeigt die starke Ströme gebenden wirksamen Zusammenstellungen beliebiger Punkte des natürlichen oder künstlichen Längs- und Querschnittes. Die gröfsere Kraft der Ströme in diesem Falle ist durch gröfsere Dicke der Striche, welche den unwirksamen leitenden Bogen darstellen, angedeutet worden. Fig. 46 lehrt die schwächer wirksamen Anordnungen zwischen verschiedenen Punkten eines und desselben natürlichen oder künstlichen Querschnittes, oder zweier natürlichen oder künstlichen Querschnitte kennen, und Fig. 47 dieselben zwischen verschiedenen Punkten des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes. In Fig. 48 findet man die unwirksamen Verbindungen zwischen Punkten des Querschnittes, in Fig. 49 die nämlichen zwischen solchen des Längsschnittes; sie sind, um nicht die Schemata durch allzuviele Linien zu verwirren, auseinandergehalten worden, und der unwirksame leitende Bogen findet sich in seinen verschiedenen Stellungen, im Gegensatze zu den schwach

ausgezogenen Linien in den schwach wirksamen Anordnungen, hier nur durch Punkte angedeutet. Mafse sind ferner, in den letzten vier Figuren, angebracht, um die entsprechende oder nicht entsprechende Lage der Punkte leichter ins Auge fallen zu lassen.

Endlich die Richtung der Pfeile giebt den Sinn des jedesmaligen Stromes an. Man übersieht vielleicht mit Hülfe der bildlichen Darstellung leichter den bemerkenswerthen Umstand, der im Verfolg obiger Auseinandersetzung möglicherweise entgehen konnte, dafs alle sich am Muskel kund gebenden Ströme, gleichviel ob zwischen Punkten des Längs- und des Querschnittes, des Querschnittes oder des Längsschnittes allein, doch stets im Grunde eine und dieselbe Richtung haben. Am Längsschnitte geht der Strom vom mittleren Querschnitte in dem Bogen zum Endquerschnitte; vom Längsschnitte geht er, in demselben, zum Querschnitte; endlich am Querschnitte, wieder in dem Bogen, vom Längsschnitte zum Mittelpunkte des Querschnittes; stets also, im Allgemeinen, vom mittleren Querschnitte des Längsschnittes zum Mittelpunkte der Endquerschnitte.

---

## §. III.

## Einige Folgerungen aus dem Gesetze des Muskelstromes, und weitere Verfolgung desselben am Muskel und in dem Thierreiche.

Die Umwälzung, die sich im Laufe dieser kurzen Versuchsreihen in unseren vorgefafsten Begriffen von dem Wesen und dem Ursprunge des Froschstromes zugetragen hat, ist, wie man gestehen mufs, beträchtlich. Von der abstracten Vorstellung des unabänderlich zur Hirnrückenmarksaxe strebenden, in seiner scheinbaren Ursachlosigkeit so geheimnifsvollen »courant de la grenouille«, wie wir ihn von Nobili und Matteucci überkommen haben, finden wir uns durch das Verfahren des Ausschliefsens nunmehr auf kürzestem Wege in ein weitaussehendes Gebiet neuer, unerwarteter, ganz eigenthümlicher Beziehungen versetzt, und in den Besitz manches schätzbaren Fingerzeiges, um jener gesuchten Stromesquelle vielleicht noch um einige Schritte näher zu rücken.

Daran nämlich kann, nach allem Obigen, kein Zweifel sein, dafs der Froschstrom, nebst den übrigen thierisch-elektrischen Strömen, wie auch schon kurz angedeutet wurde, nichts weiter ist, als die Gesammt-

Resultante aus allen Strömen, welche von allen Muskeln auf allen Punkten der thierischen Glieder entwickelt und in den Kreis derselben und des Multiplicators ausgesandt werden. Die thierischen Glieder sind in diesem Bezuge zunächst nur als ein einziger Muskel von aufserordentlich verwickelter Gestalt zu betrachten. Die übrigen Gewebe sind, so viel wir jetzt wissen, wirkungslos dazwischen vertheilt; sie bilden, dem Multiplicatorbogen gegenüber, schwächende Nebenschliefsungen. Bedenkt man, dafs wir bereits bei der grofsen Mehrzahl möglichst einfach gebildeter, unversehrter Muskeln vom Oberschenkel des Frosches, die wir untersuchten, durchaus unfähig waren, mit Hülfe des für regelmäfsige, cylinder- oder prismaähnliche Gestalten erkannten Gesetzes die Gründe anzugeben, weshalb dieser aufsteigend, jener absteigend, dieser stark, jener schwach elektromotorisch wirksam ist: so bedarf es wohl nicht erst der Erwähnung, dafs vollends hier von einem solchen ins Einzelne gehenden Verständnisse die Rede nicht sein kann. Aber so wenig wir an der Richtigkeit der Erklärung der Erscheinungen der Anziehung und Abstofsung an einem unförmlichen Klotze gestrichenen Stahles aus den gewöhnlichen magnetischen Kräften deshalb zweifeln würden, weil wir unvermögend sind, in diesem Falle mittelst der mathematischen Analyse Rechenschaft davon abzulegen: so wenig werden wir jener Schwierigkeiten halber den Ursprung des Froschstromes und der übrigen thierisch-elektrischen Ströme aus dem dem ausgesprochenen Gesetze gehorchenden Muskelstrome bezweifeln wollen. Freilich geht uns, auf diese Weise, eine schätzbare Gewährleistung für die Wirklichkeit unserer Deutung verloren; allein es wird uns glücken, dieselbe in der Folge durch fast eben so unbestreitbare Erfahrungen zu ersetzen. [1] Der Grund, weshalb ich so nachdrücklich auf einer Folgerung bestehe, die sich, dem Obigen gemäfs, für jeden Unbefangenen von selbst ergiebt, wird in Kurzem einleuchten. Matteucci nämlich hat Jahrelang, und in zahllosen Veröffentlichungen, durch Auseinanderhaltung des Froschstromes und des Muskelstromes, so weit er ihm bekannt war, an dieser Stelle die gröfste Verwirrung angestiftet.

Man würde übrigens irren, wenn man sich vorstellte, dafs jeder Muskel, in seiner natürlichen Lage, einen solchen Partialstrom in das Bett des Froschstromes ergiefst, wie wir ihn von demselben erhalten, nachdem er aus dieser Lage gerissen und über unsere dreieckige Glastafel gebreitet worden ist. Dies könnte nur dann der Fall sein, wenn jeder Muskel längs seinem ganzen Umfange, bis auf die beiden Punkte des natürlichen Querschnittes, die wir mit den Bäuschen zu berühren

[1] S. unten, Kap. V. §. III. 1 (1).

pflegen, mit einer isolirenden Hülle bekleidet wäre. So aber, wo er, bis auf diejenige Fläche einiger Muskeln, die nach Aufsen gekehrt die Gliedmafse begrenzt, rundum auf allen Punkten abgeleitet wird, ist es ganz unmöglich zu ermessen, was er eigentlich zur Endresultante des Froschstromes beiträgt, oder wie viel er, durch absteigende Wirksamkeit, ihrer aufsteigenden Gröfse entzieht. So wird, abermals jedoch nur im Groben und Allgemeinen, das anfangs auffallende, ja verdächtige Ergebnifs verständlich, dafs ein seiner Gastroknemien und seiner grofsen Unterschenkelstrecker beraubtes Galvani'sches Präparat nach wie vor, und mit nicht viel geringerer Kraft, aufsteigend zu wirken fortfährt, obschon von den übrigen untersuchten Muskeln, welche doch die Hauptmasse des Oberschenkels ausmachen, bei Berührung seiner sehnigen Enden fast kein einziger mit Regelmäfsigkeit den aufsteigenden Strom zeigt, sondern alle mehr oder weniger bald den aufsteigenden, bald den absteigenden, bald gar keinen Strom von sich geben. Dafs auch die Kraft der aufsteigenden Wirksamkeit des Galvani'schen Präparates unter der Entfernung jener so mächtig in demselben Sinne thätigen Muskeln so wenig leidet, wird weiter unten darin seine Deutung finden, dafs die Kraft des Stromes mit dem Querschnitte der Muskelmasse, von der er ausgeht, in geringerem Verhältnisse wächst, als dieser. [1] Eine zweckmäfsige Art, den obigen Versuch über die Einflufslosigkeit des Verlustes des Gastroknemius und des Extensor cruris auf die Strömungsrichtung, und seinen geringen Einfluss auf die Stromstärke des Galvani'schen Präparates anzustellen, besteht darin, dafs man die beiden Beine eines und desselben rittlings über den Zuleitungsgefäfsen auf der Glasplatte des allgemeinen Trägers schwebenden Präparates einander entgegenwirken läfst, das natürliche Uebergewicht des einen bestimmt, [2] und dann seine Verstümmelung vornimmt. Es wird dann meist das andere, zuvor schwächere Bein das Uebergewicht erhalten, jedoch in weit geringerem Mafse, als man es auf den ersten Blick, und ohne die obige Erwägung, hätte erwarten sollen. Wird auch dieses seines Wadenmuskels und Unterschenkelstreckers beraubt, so kehrt der Ausschlag auf die frühere Seite zurück.

[1] S. unten, Kap. III. §. III. 4.

[2] S. oben S. 469. Man kann zwar in diesem Falle stets leicht dadurch Gleichgewicht erzwingen, dafs man das eine Bein tiefer als das andere eintauchen läfst, wo dann, durch die Nebenschliefsung der umgebenden Salzflüssigkeit, die eingetauchten Muskeln aufser Spiel kommen; allein diesen Punkt der vollkommenen Aufhebung vermag man immer nur durch vorgängiges Tasten zu erzielen, und es ist daher zweckmäfsiger, in der oben angegebenen Weise zu verfahren, als indem man erst die Beine ins Gleichgewicht bringt, und dies durch Entfernung der Muskeln des einen zu stören, derjenigen auch des anderen wiederherzustellen sucht.

Die meisten der hier eingeleiteten Betrachtungen werden noch mehr ins Einzelne verfolgt und ins Klare gebracht werden. Dies soll zum Theil die Aufgabe des folgenden Kapitels sein. Jetzt runden wir unsere Kenntnifs des Gesetzes des Muskelstromes noch durch einige fernere Bemerkungen ab.

Auf der Hand liegt jetzt der Grund der wiederholten Verdächtigungen, die im Verfolg unserer bisherigen Untersuchungen, bei mehreren Gelegenheiten, [1] gegen Versuchsanordnungen ausgesprochen worden sind, in welchen entweder der Froschstrom, oder sonst eine zarte elektromotorische Wirkung wahrgenommen werden sollte, und in denen sich Stücke frischen Muskelfleisches mit im Kreise befanden. Man sieht, dafs eine solche Zusammenstellung nur unter den Bedingungen zulässig ist, die in unserem Gesetze unter *II* ausgesprochen sind: Bedingungen, die es bei der strengsten darauf gerichteten Aufmerksamkeit genau zu erfüllen schwer hält, geschweige denn dafs man ihre Fügung dem Zufalle überlassen dürfte. Daher gewifs, in den ersten Zeiten des Galvanismus, wo die Einschaltung frischen Muskelfleisches als eines unwirksamen feuchten Leiters in den Kreis gäng und gebe war, manches unregelmäfsige und räthselhafte Ergebnifs; daher die besonderen Vorsichtsmafsregeln bei der Versuchsreihe über die elektromotorische Unwirksamkeit der Berührung ungleichartiger Gewebe, welche in Betreff der gegenseitigen Lagerung der Gewebtheile zu einander und zu den Bäuschen angedeutet wurden, aber noch nicht ausführlich entwickelt werden konnten.

Auch jetzt kann dies noch nicht geschehen; denn es ist deutlich, dafs uns noch die Verfolgung des Gesetzes des Muskelstromes in mehreren Richtungen obliegt. Erstens durch die Reihe der Gewebe hindurch; es ist möglich, jedoch es scheint fast undenkbar, dafs nur die Muskeln mit elektromotorischer Kraft begabt sein sollten. Wirken auch andere, einzelne Gewebe, z. B. das Nervengewebe, auf die Multiplicatornadel, so ist es wahrscheinlich, dafs etwas dem Gesetze des Muskelstromes Aehnliches auch bei ihnen Geltung haben werde. Dann wissen wir, an welche Anordnung wir uns zu halten haben, um gröfstmögliche Aeufserungen jener Thätigkeit wahrzunehmen. Dies kann erst später stattfinden, wo auch von dem Strome unwillkürlicher Muskeln die Rede sein soll; bis dahin aber hilft uns für die Darlegung der erwähnten Versuchsreihe die Kenntnifs der Bedingungen der Unwirksamkeit nur eines Gewebes, des Muskelgewebes, Nichts, da in jede einzelne Zusammenstellung derselben, der Natur der Sache nach, zwei verschiedene Gewebe eingehen.

[1] S. oben S. 86. 482. 485.

Zweitens haben wir das Gesetz des Muskelstromes zu verfolgen ins Innere des Muskels, d. h. einfach festzustellen, wenn es angeht, bis zu welcher Grenze der Kleinheit und Einfachheit ein Muskelbruchstück elektromotorisch nach dem Gesetze wirkt. Auch hier wird uns die Kenntnifs der am stärksten thätigen Anordnung, der zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitte, von nicht geringem Nutzen sein. Auch dies jedoch bleibe dem folgenden Kapitel vorbehalten.

Drittens werden wir es zu unternehmen haben, die Gültigkeit des Gesetzes des Muskelstromes auch an dem lebenden, mehr oder weniger in seinem natürlichen Zustande befindlichen Thiere nachzuweisen, eine Untersuchung, wodurch, wie man leicht begreift, jede Leistung auf diesem Gebiete erst in ihrem Werthe bestätigt scheinen kann. Hier mag von derselben nur so viel bemerkt werden, als wir bald bei einer wichtigen Gelegenheit zu brauchen in den Fall kommen dürften; nämlich dafs Muskeln, welche noch durch ihre Nerven mit dem Rückenmarke des lebendigen Thieres zusammenhängen, im Zustande der Ruhe völlig das nämliche elektromotorische Verhalten, nach ganz demselben die natürlichen und künstlichen Flächenbegrenzungen betreffenden Gesetze zeigen, als solche, die vom Einflusse des Centralnervensystemes ganz und gar abgetrennt sind, wie wir sie bisher uns gedacht haben. Die Art und Weise, den Frosch zu diesem Behufe am zweckdienlichsten zuzurichten, zu befestigen, und sodann den Strom von seinen Muskeln zu gewinnen, soll unten (Kap. IV. §. III) bei derselben Gelegenheit, wo dieser Umstand uns zunächst von Wichtigkeit wird, zur Beschreibung kommen.

Endlich und viertens ist es Zeit, durch umständlichere Darlegung der Thatsachen den oben allgemein angedeuteten Satz betreffend die Verbreitung desselben Gesetzes des Muskelstromes durch die ganze Thierreihe zu erhärten. Dabei ist Folgendes zu bevorworten. In der Vollständigkeit, wie oben das Gesetz an den Muskeln des Frosches, bereits mit Zuhülfenahme derer des Kaninchens, nachgewiesen wurde, hat es begreiflich nicht für alle nachstehend aufgezählten Thierarten durchgeführt werden können. Vom physiologischen Gesichtspunkte aus, der hier im Grunde mafsgebend ist, erscheint diese ganze Untersuchung, wenigstens so weit sie sich auf Wirbelthiere erstreckt, so gut wie überflüssig; um so mehr wird man es für hinreichend halten, wenn ich mich in den meisten Fällen begnügt habe, an einem Muskelbruchstücke die Negativität beider künstlichen Querschnitte gegen den natürlichen Längsschnitt, und, wenn es anging, die Gleichartigkeit entsprechender Punkte des natürlichen Längsschnittes, wie auch der gesammten Ausdehnungen der beiden Querschnitte darzuthun.

Die Muskeln folgender Thiere sind nun auf das Gesetz untersucht worden:

Mensch.
Kaninchen (Lepus cuniculus).
Meerschweinchen (Cavia cobaya).
Hausmaus (Mus musculus).

---

Taube (Columba).
Sperling (Fringilla domestica).

---

Schildkröte (Testudo europea).
Eidechse (Lacerta agilis).
Ringelnatter (Coluber natrix).
Blindschleiche (Anguis fragilis).
Wasserfrosch (Rana esculenta).
Grasfrosch (Rana temporaria).
Laubfrosch (Hyla arborea).
Kröte (Bufo cinereus). (Bufo viridis). (Bufo calamita).
Erdmolch (Salamandra maculata).
Wassermolch (Triton cristatus).
(Froschlarve).

---

Schley (Cyprinus tinca).

---

Flufskrebs (Astacus fluviatilis).

---

Weinbergsschnecke (Helix pomatia) [?]

---

Regenwurm (Lumbricus terrestris).

---

Die Bewährung des Gesetzes an menschlichen Muskeln, betreffend, wird man vielleicht nicht ungern einige Einzelheiten vernehmen. Am 20. Februar 1846 ward in der chirurgischen Klinik des Herrn Geheimenraths Jüngken in dem hiesigen Charité-Krankenhause der Oberschenkel eines dreifsigjährigen Mannes wegen Nekrose des Kopfes der Tibia amputirt. Die Herren DD. Virchow und Wilms eilten sogleich nach geschehener Trennung damit in meine nur wenige Minuten entfernte Wohnung. Keine Viertelstunde nach der Operation lag der untere Theil des Tibialis anticus (der Plantaris fehlte leider) auf den Bäuschen

meiner Vorrichtung auf. Die Nadel wurde stets, mit der gröfsten Heftigkeit wider die Hemmung geworfen, wenn einerseits Querschnitt, andererseits Längsschnitt berührte. Verschiedene Punkte des Längsschnittes liefsen sie auf Null. Zwei künstliche Querschnitte gegeneinander aufgelegt gaben nicht so ganz befriedigenden Erfolg, indefs doch immer keine mit der ersten in Vergleich zu bringende Wirkung. Noch anderthalb Stunden nach der Trennung wurden lebhafte Zuckungen auf elektrischem Wege erhalten. [1]

Die Schildkröte bietet, nächst dem Frosche, die günstigste Gelegenheit für die vollständige und ausführliche Bewährung des Gesetzes in allen seinen Punkten dar, nur dafs allerdings zuerst die Mühseligkeiten zu überwinden sind, die das Durchbrechen des Schildes verursacht. Am Schley bedient man sich mit Vortheil der langen Streifen röthlichen Muskelfleisches, die sich am Rücken, dicht hinter dem Hinterhaupt, vorfinden.

Vortrefflich gelingen auch die Versuche über die stärkeren Ungleichartigkeiten zwischen Längs- und Querschnitt selbst an den Muskeln des Hinterleibes des Krebses. Hier entdeckt man, nach Abtragung des Hautskeletes, verschiedene Lagen von platten, sehr regelmäfsig gebauten Muskeln, aus denen man leicht Stücke von 6—7$^{mm}$ Länge auf 2—2.5$^{mm}$ Breite und 0.5$^{mm}$ Dicke darstellt, die äufserst kräftig und völlig regelmäfsig nach dem Gesetz elektromotorisch wirken. Sie gaben, an meiner damals keinesweges sehr empfindlichen Vorrichtung, bis 40° Ausschlag und hielten hinterher die Nadel in einer beständigen Ablenkung von 3—4°. Die Muskelstreifen der Weinbergsschnecke, die ich untersuchte, waren dem Fufs entnommen. Ich habe ein Fragezeichen beigefügt, weil die Wirkungen es an Regelmäfsigkeit fehlen liefsen und ich nicht sicher bin, ob nicht der Alles überziehende Schleim des Thieres einen elektromotorischen Antheil daran hatte. Vom Regenwurm endlich wurden die ganzen Stücke des walzenförmigen Körpers ohne weiteres als Muskel auflegt. Bei den oben angeführten Froschlarven waren bereits die hinteren Extremitäten frei geworden; die Versuche wurden am Schwanze angestellt. Einen Säugethierfoetus zu untersuchen habe ich noch nicht Gelegenheit gehabt.

[1] Matteucci hat in den Philosophical Transactions etc. For the year 1845. Part II. p. 304 in seiner Abhandlung »On Induced Contractions« folgenden Versuch beschrieben: »I avail myself of this opportunity of referring to an experiment »made for the purpose of proving the existence of the muscular current in the »living human subject. I applied the nerve of the galvanoscopic frog with care to »the musele of a leg laid bare by a wound. The most lively contractions were »excited in the galvanoscopic frog every time that the circuit was suitably closed »between the interior of the wound and the surface.«

Ueber die Verschiedenheit in der Dauer des Muskelstromes je nach den verschiedenen Thierklassen siehe den ersten Paragraphen des fünften Kapitels. Auch findet sich daselbst eine bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit in der Erscheinungsweise des Stromes zarterer Muskeln, von Säugethieren und auch von Froschlarven erwähnt, von welcher man wohl thun wird, Kenntnifs zu nehmen, ehe man an die eigene thatsächliche Bewährung dieser Erfahrungen geht, widrigenfalls man leicht an der Richtigkeit des aufgestellten Gesetzes irre werden könnte.

Das Gesetz des Muskelstromes läfst sich, in seinen allgemeinsten Zügen, nicht nur, wie bisher, mittelst des Multiplicators, sondern auch, bis auf die Strömungsrichtungen, mit ziemlicher Sicherheit mittelst des stromprüfenden Schenkels darthun. Oben S. 475 lernten wir die beste, dem Galvani'schen Versuch mit gleichartigem Metallbogen zu ertheilende Gestalt kennen: folgende ist unstreitig die einfachste und zugleich lehrreichste Form, deren der Galvani'sche Versuch ohne Metallbogen fähig ist. Man stellt sich, an einem äufserst reizbaren Frosche, den Gastroknemius mit seinem Nervenstamme von den Lendenwirbeln ab völlig frei dar: eine in der Gegend der Kniekehle etwas zarte Zurichtung, die aber in der Folge uns noch unzählige Male nothwendig werden wird. Man fafst nun das freie Hirnende des Nerven mittelst einer isolirenden Pinzette an einem Bindegewebzipfel, den man ihm zu diesem Behufe absichtlich gelassen hat, beugt ihn an seiner Eintrittsstelle in den Muskel gegen diesen um, und läfst ihn seiner hinteren Fläche entlang, dergestalt herabsinken, dafs immer neue, nach dem Hirnende des Nerven zu gelegene Punkte mit immer neuen, nach dem Schwanzende des Muskels zu gelegenen Punkten in Berührung kommen. So lange nur das rothe Fleisch, der natürliche Längsschnitt berührt wird, bleibt Alles in Ruhe; Zuckung erfolgt hingegen, sobald der Nerv den Sehnenspiegel des Tendo Achillis, d. h. den mit einem unwirksamen leitenden Ueberzuge bekleideten natürlichen Querschnitt des Muskels erreicht. [1] Die Leistungsfähigkeit des Thieres mufs defshalb eine ganz vorzügliche sein, weil nicht nur über der schwierigen Zurichtung bei aller Uebung doch immer einige Zeit verstreicht, sondern auch weil man sich, wenn der Versuch das sein soll, was man von ihm verlangt, eine Bewährung des Gesetzes des Muskelstromes, des Kunstgriffes des Fallenlassens oder gar Hinschleuderns des Nerven auf den Muskel entschlagen können mufs, welcher, früher erörterten Grundsätzen gemäfs,

[1] Vergl. oben S. 384 einen gleichbedeutenden Versuch, wo der im Nerven aufsteigende Muskelstrom seine beruhigende Wirkung auf gewisse Erregungszustände des Nerven erst in dem Augenblick zu äufsern begann, wo die Ausbreitung der Achillessehne erreicht wurde.

dem Erscheinen der Zuckungen so förderlich ist, indem man nur bei einer gewissen Langsamkeit der Bewegnng des Nerven mit dem Auge den Augenblick aufzufassen im Stande ist, wo er die Scheidelinie der ungleichartigen Flächenbegrenzungen des Muskels überschreitet.

Und so sind wir zum Verständnisse der Bedingung gelangt, welche Volta, in seinem dritten Brief an Vassalli, für das Gelingen des Galvani'schen Versuches ohne Metalle vorschrieb. Man erinnert sich, dafs er, seiner Theorie gemäfs, auf die Gegenwart dreier ungleichartiger Stoffe bestand, damit ein Strom entstehen könne. Hieraus entsprangen zwei Vorschriften; erstens, dafs die Muskeln des Rumpfes, mit welchen der Unterschenkel in Berührung gebracht werden sollte, nicht rein seien, gleich als ob sie mit Wasser gewaschen wären, sondern mit Blut, Speichel, Salzlösung, Harn, Schleim, verschiedenen Pflanzensäften, Seifwasser, concentrirten Alkalien oder Säuren verunreinigt; für's zweite: »Che il »contatto de' nudi nervi ischiatici, o de nudi muscoli del tronco si »faccia, non da qualsisia parte della gamba, ma dal tendine in cui ter»mina il muscolo grosso di essa gamba, ossia il gastrocnemio; il qual »tendine o ligamento passando sopra l'articolazione del piede si pro»lunga fino alle estreme dita e salta all' occhio pel suo colore bianco »e di un lucido argenteo o piuttosto di perla.« (S. oben S. 72. 74.) Volta irrte sich, indem er die elektromotorische Wirksamkeit dieser Anordnung der Ungleichartigkeit des Sehnengewebes zuschrieb; der natürliche, unterhalb der Sehne gelegene Querschnitt des Muskels war es, der sich hier thätig erwies. Dadurch büfst aber seine Beobachtung von ihrem unvergänglichen Werth Nichts ein; hätte ein glücklicher Zufall ihn die gleiche Wirksamkeit des künstlichen Querschnittes kennen gelehrt, wovon sich sogar schon eine leise Andeutung an einer Stelle findet,[1] so würde die Wissenschaft fünfzig Jahre früher mit der Kenntnifs des Gesetzes des Muskelstromes ausgestattet worden sein, zu der er unstreitig den wichtigsten Schlüssel, die Einsicht in die ungleichartige Natur der mit Sehnengewebe bedeckten Fläche der Glieder, bereits besafs.

Die in unserem Gesetze unter B. aufgeführten schwach wirksamen

[1] Volta empfiehlt nämlich (S. oben S. 73), wenn man sich von der elektromotorischen Wirksamkeit der Ungleichartigkeiten dadurch überzeugen wolle, dafs man nach ihrer Entfernung keine Zuckung mehr erhält, die Sorgfalt beim Waschen mit Wasser vorzüglich auf die Schnittränder der Muskeln zu richten; in seinem Sinne möglicherweise, weil hier vorzüglich Verunreinigung mit Blut stattfinden mag; ebenso wahrscheinlich aber auch in unserem, weil hier künstlicher Querschnitt wirksam war, der jedoch durch Benetzen und Reiben mit Wasser leicht sehr in seiner Thätigkeit beeinträchtigt werden kann. S. unten, Kap. V. §. III. 4.

Zusammenstellungen habe ich nicht mittelst des stromprüfenden Froschschenkels als solche nachzuweisen vermocht. Um so leichter gelingt es, durch die Ungleichartigkeit zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitte Zuckungen zu erhalten. Diesen Versuch hat MATTEUCCI zuerst angestellt, zu dessen Leistungen im Gebiete des Gesetzes des Muskelstromes wir jetzt übergehen.

---

## §. IV.

## Zur Geschichte des Gesetzes des Muskelstromes.

### 1. MATTEUCCI's Wahrnehmung der Negativität des künstlich bloßgelegten Muskelinneren im Allgemeinen.

In Betreff des Namens vorerst, den ich dem im Vorigen dargelegten Ganzen von Erscheinungen ertheilt habe, ist zu bemerken, daß bei MATTEUCCI zwar viel von den »Gesetzen des Muskelstromes« (lois du courant musculaire [1]) die Rede ist, daß aber dieser Physiker darunter etwas ganz verschiedenes von dem versteht, was ich damit bezeichne, nämlich das Verhalten des Muskelstromes gewissen Einflüssen gegenüber, denen die Muskeln ausgesetzt werden, als Kälte, Gifte, Verletzung des Nervensystemes u. d. m.

Die erste, das Gesetz des Muskelstromes in unserem Sinne betreffende Bekanntmachung ist von MATTEUCCI vom September 1841. Berühre man zwei verschiedene Punkte einer Muskelwunde mit dem Nerven des stromprüfenden Froschschenkels, so entstehe eine Zuckung. »Le résultat général est celui-ci: la partie interne d'un muscle vivant »ou presque vivant, mise en communication ou par un fil galvanométrique, ou par un filet nerveux d'une grenouille, avec une autre partie »quelconque du même animal, nerf, surface du muscle, peau etc. produit »un courant qui va dans l'animal de la partie musculaire à la partie qui »ne l'est pas.« [2]

Am 21. Februar 1842 wurden ferner durch DUMAS in MATTEUCCI's Namen, folgende neue, hieher gehörige Thatsachen der Pariser Aka-

[1] Annales de Chimie et de Physique. Avril 1843. 3. Série. t. VII. p. 437. — Archives de l'Électricité. 1843. t. III. p. 17. — Traité etc. p. 58. 67.

[2] Comptes rendus etc. 6 Septembre 1841. t. XIII. p. 540. — L'Institut. 1841. t. IX. No. 402. p. 302; — No. 403. p. 310.

demie vorgelegt. Der Versuch mit der Muskelwunde wird abermals mitgetheilt. »Pour peu qu'on remue ce filament nerveux dans l'intérieur »de la blessure, on voit de suite de fortes contractions dans la patte »de la grenouille. On les obtient constamment si, tandis que l'extré»mité du filet nerveux susdit touche le fond de la blessure, on met »un autre point du même nerf en contact avec les bords externes de »la blessure ..... M. Matteucci .. a obtenu .. un courant bien »distinct de 20 à 30° en faisant une blessure dans le muscle d'un ani»mal vivant, et en plongeant une des lames dans l'intérieur de la bles»sure et en posant l'autre sur la surface du muscle. Ce courant était »constamment dirigé dans l'animal de la partie interne de la blessure »à la surface externe du muscle. M. Matteucci a varié de bien des »manières ses expériences, mais toutes lui ont démontré qu'en opérant »suivant la manière décrite, et dans les animaux susdits, on obtient »toujours, au galvanomètre, un courant qui est constamment dirigé, »dans l'animal, de la masse musculaire de la cuisse ou du nerf qui »y est ramifié, à la surface externe ou tendineuse. ..... La di»rection de ce courant est en sens contraire de celui de la grenouille. »..... De tous les résultats obtenus dans les expériences tentées sur les »grenouilles et sur des animaux à sang chaud, on peut donc tirer cette »conclusion: 1° Que la grenouille et les animaux à sang chaud donnent »un courant électrique lorsque la partie interne d'une masse musculaire »et sa surface sont mises en communication avec un arc conducteur, »comme serait le fil d'un galvanomètre; .... 3° que le courant est »dirigé, dans l'animal, de l'intérieur du muscle ou de son nerf à sa »surface ou à son tendon.[1]«

Wiederum theilte Dumas, am 17. October desselben Jahres, folgenden von Matteucci in seiner Gegenwart wiederholten Versuch mit: »Si l'on met à nu l'un des muscles, soit de la poitrine, soit de la »cuisse, d'un pigeon vivant, qu'on coupe ce muscle transversalement, »puis qu'on établisse en contact avec lui les nerfs d'une cuisse pré»parée de grenouille, cette cuisse éprouve sur le champ une con»traction.....«[2]

Jetzt erschien, am 5. November desselben Jahres in den *Archives de l'Électricité,* und bald darauf auch in dem Novemberhefte der *Annales de Chimie et de Physique,* Matteucci's »*Deuxième mémoire* »*sur le courant électrique propre de la grenouille et sur celui des*

[1] Comptes rendus etc. 21 Février 1842. t. XIV. p. 315. — L'Institut. 1842. t. X. No. 426. p. 65.

[2] Comptes rendus etc. 24 Octobre 1842. t. XV. p. 797. — L'Institut. 1842. t. X. No. 461. p. 373.

»*animaux à sang chaud,*« worin folgende neue Thatsachen enthalten sind, welche auf unser Gesetz des Muskelstromes bezogen werden können. »J'ai tenté d'enlever, autant qu'il est possible, la surface tendi»neuse de la jambe, et j'ai, avec des grenouilles ainsi préparées, con»struit les mêmes piles, soit avec les jambes seules, soit avec des demi»grenouilles [1] ou bien avec des grenouilles entières. Le courant obtenu »a toujours été dans le sens ordinaire du courant de la grenouille et »sensiblement plus intense que celui qu'on a, dans les mêmes circon»stances, en laissant intacts les tendons de la jambe. J'ai pris aussi »les cuisses seules, par conséquent sans nerfs spinaux ni jambes, et je »les ai coupées transversalement; puis j'ai préparé avec ces morceaux »une pile, en faisant en sorte que la surface musculaire interne de »chacun de ces morceaux fût en contact avec la surface externe du »morceau suivant. Une pile ainsi composée m'a donné un courant »constamment dirigé de la surface musculaire interne à l'externe dans »la masse même du muscle; son intensité était plus grande que celle »qu'on a avec une pile du même nombre de grenouilles. Ce ré»sultat est constant, quel que soit le morceau de la cuisse ainsi »coupée qu'on emploie en construisant la pile. On comprend fa»cilement que, en coupant une cuisse par le milieu, on peut pren»dre le morceau qui était uni à la jambe ou celui qui était du »côté du nerf: quel que soit celui de ces deux morceaux qui com»pose la pile, le courant est constamment dirigé du muscle interne »à la surface, dans l'animal. Le courant obtenu avec les morceaux »de cuisse coupée par le milieu nous explique pourquoi, dans le cas »où sont employées les jambes dans lesquelles la surface interne des »muscles est mise à nu, le courant devient plus intense. [2] Ces résul»tats permettent également de conclure, en ce qui concerne la pile »composée avec ces demi-cuisses qui sont prises du côté de la jambe, »pourquoi le courant est dirigé de la tête vers les pieds et par con»séquent en sens contraire du courant propre de la grenouille. [3] Je »rapporterai encore un singulier résultat qui confirme les résultats an»térieurs. — J'ai préparé, comme d'habitude, des demi-grenouilles aux»quelles j'ai coupé les cuisses à moitié, la pile étant formée par la

[1] Unter demi-grenouilles versteht Matteucci der Länge nach in zwei entsprechende Hälften getheilte Galvani'sche Präparate mit ihren Nervenstämmen.

[2] Nämlich Matteucci denkt sich, dafs in diesem Falle Muskelstrom und Froschstrom sich summiren.

[3] Bei den unteren Hälften der Oberschenkel soll, so viel ich Matteucci verstehe, der Muskelstrom den stets aufsteigenden, und in allen Theilen gleich vorhandenen Froschstrom übercompensiren.

»mise en contact du tendon de la jambe avec le muscle interne de la »cuisse coupée. Dans ce cas, le courant obtenu était très-faible et »bien moindre que celui qui est produit par une pile de même nom»bre de grenouilles intactes. Cependant la direction du courant était »toujours dans le sens de celui de la grenouille. Il est naturel d'at»tribuer ce résultat aux deux courants qui circulent en direction con»traire, c'est-à-dire au courant propre de la grenouille, et à l'autre »produit par la surface interne du muscle en contact avec la surface »externe, lequel est dirigé en sens contraire du courant de la grenouille. »La différence en faveur de ce dernier est évidemment due à sa plus »grande intensité, ce dont on a du reste la preuve en opérant avec »les jambes seules. Ces faits, que j'ai répétés et variés de bien des »manières, et qui m'ont toujours donné les mêmes résultats, conduisent »à établir: 1° que le courant propre peut s'obtenir par la jambe »seule de la grenouille; 2° qu'en établissant une communication entre »la surface interne d'une masse musculaire appartenant à un animal »récemment tué et sa surface externe, on obtient les signes d'un cou»rant dirigé dans le muscle de l'intérieur à l'extérieur.« [1]

Einer der Gründe, welche Matteucci für die Einerleiheit des Stromes anführt, der die Multiplicatorablenkung, und desjenigen, der die Galvani'sche Zuckung ohne Metalle hervorbringt — eine Einerleiheit, an der freilich nur er Zweifel hegen konnte [2] — besteht in dem Nachweis, dafs die Zuckung auch an solchen Unterschenkeln gelinge, an denen die Ausbreitung der Achillessehne abgeschält sei, ja hier in Fällen, wo er sie, bei der gewöhnlichen Anordnung, sonst nicht zu erhalten vermochte. [3]

Endlich berichtet Matteucci: »J'ai tenté, comme pour les gre»nouilles, de faire une pile avec des jambes seules de pigeon. Quatre »de ces jambes, ôtées de l'animal à peine tué et disposées en forme »de pile, m'ont donné un courant à peine sensible. Je n'avais qu'à »couper les muscles de la jambe et à composer la pile en mettant la »surface du muscle coupé en contact avec le tendon de la jambe, pour »avoir un courant de 6° ou 8° et dirigé, dans l'animal, du muscle »à la surface tendineuse, comme il arrive avec les cuisses de gre»nouille.« [4]

Aus seinen Erfahrungen zieht er folgende Schlüsse:

[1] Archives de l'Électricité. 1842. t. II. p. 434—436. — Annales de Chimie et de Physique. Novembre 1842. 3. Série. t. VI. p. 319.

[2] S. oben S. 478.

[3] Ibid. (Arch.) p. 440; — (Ann.) p. 324.

[4] Ibid. (Arch.) p. 449; — (Ann.) p. 334.

»1° Que la grenouille et les animaux à sang chaud donnent un cou»rant électrique, lorsque la partie interne d'une masse musculaire et sa »surface sont mises en communication avec un arc conducteur, comme »serait le fil du galvanomètre;

»2° Que le nerf qui appartient à une masse musculaire, et tout »le système nerveux en général, peuvent faire l'office de la partie in»terne d'un muscle dans la production de ce courant; [1]

»3° Que le courant est dirigé, dans l'animal, de l'intérieur du »muscle ou de son nerf à sa surface, ou à son tendon;

»4° Que les conclusions précédentes comprennent toutes les expé»riences faites sur les animaux à sang chaud, et celles qui ont été faites »avec les seules cuisses de la grenouille, en construisant avec ces der»nières la pile de manière que la partie interne du muscle touche l'ex»terne de l'élément voisin. Elles contiennent aussi le fait du courant »obtenu en établissant une communication entre l'intérieur de la bles»sure d'un muscle et sa surface.

»5° Qu'il arrive dans la seule grenouille que le courant qu'on ob»tient en mettant en communication les muscles ou les tendons de la »jambe et les nerfs ou les muscles de la cuisse, est dirigé, dans l'ani»mal, de la jambe à la cuisse ou au nerf.

»6° D'après cela on comprend pourquoi, lorsqu'on coupe les mus»cles de la cuisse à moitié et qu'on construit la pile en mettant en »contact les muscles de la cuisse avec les tendons de la jambe, le »courant obtenu est plus faible qu'à l'ordinaire. Il y a, dans cette »disposition, deux courants qui circulent dans une direction contraire; »et puisque le courant qu'on obtient est celui qui est dirigé de la »jambe à la cuisse, il faut admettre qu'il a une intensité plus grande »que l'autre.

»7° Il reste donc à expliquer, et c'est peut-être à l'anatomie qu'on »devra la solution de cette question, comment dans la grenouille les »muscles de la jambe et particulièrement les tendons par lesquels ils »se terminent, ont, dans la production du courant propre, la même »influence qu'a, dans les animaux à sang chaud et dans les mêmes »grenouilles, la partie interne des muscles ou les nerfs qui s'y distri»buent.« (Ibid.)

[1] Das Einzelne einer wahrhaft unabsehbaren Verwirrung von Seiten Mattucci's, auf welche dieser Schluſs Bezug hat, glaube ich hier um so eher mit Stillschweigen übergehen zu dürfen, als sich einmal nur ein untergeordnetes Interesse daran knüpft, zweitens Mattucci selbst davon zurückgekommen zu sein scheint, und endlich drittens dieselbe später noch für einen Augenblick unsere Aufmerksamkeit in Anspruch zu nehmen haben wird. S. unten, Kap. VI. §. 11.

Prévost in Genf wiederholte um diese Zeit gleichfalls Matteucci's oben erwähnten Versuch am querdurchschnittenen Brustmuskel der Taube. [1] Er nimmt jedoch in den Muskeln einen absteigenden Strom an, der sich kund gebe, wenn man die Lippen der klaffenden Querwunde mit dem Nerven des stromprüfenden Schenkels berühre. Die Zuckung erfolge dem Gesetze der Zuckungen gemäfs, dann nämlich nur, wenn das Hirnende des Nerven der oberen Wundlippe entspreche (S. oben S. 396). Werde der Nerv in die Wunde eingebracht, so finden keine Zuckungen statt, weil der absteigende Strom denselben senkrecht auf seine Längsaxe durchkreise; was jedoch Matteucci's oben angeführten Erfahrungen zuwider ist. Auch ein Bonijol'scher Multiplicator gebe den absteigenden Strom an. Wenn man nur begriffe, wozu alsdann dabei die Wunde nöthig ist. Eine Längswunde gebe keine deutliche Wirkungen. »Il est nécessaire d'apporter beaucoup »d'attention à toucher des tissus semblables avec les deux extrémités »de l'instrument; des erreurs graves pourraient suivre la négligence de »cette précaution.« [2] Die Anwendung, die Prévost von diesen Ergebnissen alsbald machen zu dürfen geglaubt hat, um eine elektrische Theorie der Muskelzusammenziehung zu erfinden, werden wir später kennen lernen. [3]

## 2. Darlegung des Gesetzes des Muskelstromes in meinem »*vorläufigen Abrisse u. s. w.*«

Dies sind sämmtliche Thatsachen und Schlüsse, welche Matteucci vor dem Erscheinen des »*vorläufigen Abrisses*« im Januar 1843 über den Muskelstrom bekannt gemacht hat. Meine Untersuchungen über das Gesetz des Muskelstromes sind unabhängig davon angestellt, worüber, für das erst im November des Jahres 1842 erschienene »*Deuxième mémoire etc.*« wohl nicht leicht ein Zweifel obwalten kann. Aber auch die früheren Notizen, was übrigens ziemlich gleichgültig ist, kamen mir erst zu Gesicht, als ich mit meiner Kenntnifs jenes Gesetzes bereits bis zu dem Punkte gediehen war, der aus der Darlegung desselben in meinem »*Abrisse*« erhellen mag. — Nachdem ich in kurzem den Weg geschildert, den wir im ersten Kapitel der vorliegenden Untersuchung genom-

[1] Archives de l'Électricité etc. 1842. t. II. p. 633.

[2] Vergl. darüber oben S. 481. Die verschiedenen Gewebe verhalten sich, allen früheren, tausendfältig darüber geäufserten Vermuthungen zum Trotz, hingegen in Uebereinstimmung mit sehr einfachen theoretischen Betrachtungen, in den jetzt möglichen Grenzen der Genauigkeit, völlig gleichartig.

[3] S. unten, Kap. IV. §. 1.

men haben, und die Thatsache des bald aufsteigenden, bald absteigenden, bald nicht vorhandenen Stromes einzelner Frosch-, Kaninchen- und Taubenmuskeln an's Licht gezogen habe, [1] fahre ich fort:

»(§) Untersucht man genauer einen von den Muskeln, welche »anscheinend keinen Strom zeigen, so findet man, dafs dieselben, an »ihren Sehnen mit den Enden des indifferenten leitenden Bogens be»rührt, allerdings zu keiner Stromentwicklung Anlafs geben, ebenso »wenig, wenn man zwei Punkte des Mantels des Cylinders oder der »Seitenflächen des Prisma's, welche die Muskeln darstellen, berührt; »dafs aber alsbald ein Strom wahrgenommen wird, wenn die berühr»ten Punkte, der eine dem Mantel des Cylinders, oder den Seitenflächen »des Prisma's, der andere deren Grundfläche, nämlich der Sehne, an»gehörig sind; und zwar ist der Strom stets im Bogen so gerichtet, »dafs er sich von dem einen Punkt zum andern in der Ordnung, wie »sie genannt sind, bewegt.

»(§) Durch eine Reihe von Versuchen läfst sich darthun, dafs »das Sehnen- und Bindegewebe in diesen Fällen sich als indifferenter »feuchter Leiter verhält.

»(§) Bedenkt man, was eigentlich die Sehne ist, so sieht man, »dafs sie hier nichts weiter vorstellt, als einen leitenden, selbst nicht »elektromotorisch wirksamen Ueberzug über den darunter gelegenen »natürlichen Querschnitt sämmtlicher Primitiv-Muskelbündel oder »secundären Muskelzellen, oder des Muskels im Allgemeinen, wenn »man unter seinem Querschnitt eine solche Flächenbegränzung an demselben verstehen will, dafs darin nur freie »Enden der Primitiv-Muskelbündel enthalten sind.

»(§) Da aber ein Bruchtheil eines Muskels noch der Zusammen»ziehung fähig ist, folglich noch keine seiner wichtigeren Eigenschaften »eingebüfst haben kann, so stand zu vermuthen, dafs ein künstlicher »Querschnitt des Muskels sich ebenso wie der natürliche, d. h. ne»gativ, gegen die Aufsenfläche desselben verhalten werde. Dies ist in »der That der Fall. Schneidet man einen der bezeichneten Oberschen»kelmuskeln vom Frosch senkrecht auf die Richtung der Primitiv-Mus»kelbündel oberhalb der unteren oder unterhalb der oberen Sehne durch, »so verhält sich die solchergestalt dargestellte Schnittfläche elektromo»torisch homogen mit dem noch mit der Sehne bekleideten natürlichen »Querschnitt am anderen Ende des Muskels, heterogen aber und zwar »negativ gegen die Aufsenfläche des Muskels.

»(§) Beim Weitergehen findet sich, dafs auch die natürliche

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. Januar 1843. Bd. LVIII. S. 1—3. §. 1—10.

»Aufsenfläche des Muskels ersetzt werden könne durch eine künstlich, »durch Zerreifsen oder mittelst des Messers dargestellte so beschaf- »fene Flächenbegränzung an demselben, dafs darin nur »Mäntel oder Seitenflächen der als Cylinder oder Prismen »gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind. »Schneidet man aus einem Muskel einen Muskelfleischriemen, das heifst, »ein blofses Bündel von secundären Muskelzellen von cylindrischer oder »prismatischer Form, so giebt das Bündel durchaus keine elektromoto- »rische Wirkung, so lange die beiden Enden des indifferenten leitenden »Bogens, in welchen die stromprüfende Vorrichtung eingeschaltet ist, »an die beiden Grundflächen des Bündels, d. h. an die Querschnitte »des Muskels, oder an zwei Punkte des Mantels oder der Seitenflächen »des Cylinders oder des Prisma's, welche das Bündel darstellt, an- »gelegt werden. So wie aber der leitende Bogen einen Punkt der »künstlichen Aufsenfläche mit einem Punkt des künstlichen Quer- »schnitts in Verbindung setzt, zeigt die stromprüfende Vorrichtung »einen Strom an, der von dem einen Punkt zum anderen, in der »Richtung wie sie genannt sind, in dem Bogen sich bewegt.

»(§) Ein jeder Theil des Muskels verhält sich auf dieselbe Weise. »Ich habe Wirkungen noch von so kleinen Muskelfleischpartieen nach »demselben Gesetz freilich mit sehr geringer Intensität erfolgen sehen, »dafs ich sie nachher mit Bequemlichkeit unter das Mikroskop brin- »gen .. konnte....

»(§) Augenscheinlich haben wir hier den Schlüssel zu Mat- »teucci's jüngsten mir bekannt gewordenen hieher gehörigen elektro- »physiologischen Untersuchungen gefunden, welche derselbe durch Dumas »in der Sitzung der Pariser Akademie der Wissenschaften vom 21. Fe- »bruar d. J. hat vorlegen lassen, und welche im Journal *L'Institut*, »No. 426, mitgetheilt sind. U. s. w.«

Diese Darstellung weicht von der oben gegebenen nur in zwei bemerkenswerthen Punkten ab.

Erstens war mir für die äufsere Flächenbegrenzung des Muskels, seinen Mantel oder seine Seitenflächen, wenn man ihn sich als Cylinder oder als Prisma denkt, die Bezeichnung derselben als des Längsschnittes, im Gegensatze zum Querschnitte, noch nicht eingefallen, obschon die Begriffsbestimmung, die von jener Begrenzung sich vorfindet, völlig die nämliche ist, wie die oben S. 501 mitgetheilte. Als mir kurz darauf auch diese Beziehung klar wurde, war meine Arbeit schon gedruckt; eine Französische Abhandlung, welche ich Hrn. Arago übersandte, und in welcher der unter *I.* A. des jetzigen Ausdruckes des Gesetzes begriffene Theil desselben bereits wörtlich übersetzt stand,

erschien nicht veröffentlicht, und so kam es, dafs ich erst durch Hrn. Geheimenrathes Joh. Müller Güte in dem ersten Bande der neuen Auflage seines *Handbuches der Physiologie u. s. w.* 1844. S. 557 Gelegenheit fand, jene Versäumnifs nachzuholen.

Eine wichtigere Lücke ist unstreitig, dafs mir die schwach wirksamen Anordnungen zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnittes allein, und des Querschnittes allein, noch nicht bekannt waren. Dies kam zum Theil von der damals ungleich geringeren Empfindlichkeit meiner Vorrichtungen, welche ihrerseits vorzugsweise auf der geringeren Gröfse der benetzten Platinoberfläche beruhte; zum Theil war dieser Irrthum mit einem anderen, an einer späteren Stelle [1] zu bezeichnenden Mifsgriffe mehr theoretischer Art verknüpft, der aber allerdings wieder zunächst in jener Mangelhaftigkeit meiner experimentellen Mittel seinen Grund hatte.

Hiedurch ward ich gezwungen, von den im ersten Paragraphen dieses Kapitels beschriebenen Wirkungen, die man von den Muskeln bei Berührung ihrer beiden sehnigen Enden erhält, eine Deutung zu geben, welche mir, bei dem jetzigen Stande der Dinge, nur noch für den Gastroknemius und den Extensor cruris zulässig scheint (S. oben S. 512). Da ich nämlich keine anderen Ströme kannte, als solche zwischen beliebigen Punkten des natürlichen oder künstlichen Längs- und Querschnittes, so blieb, zur Erklärung jener Wirkungen, kein anderer Ausweg übrig, als anzunehmen, dafs, vermöge des fortwährend durch die Sehne, als unwirksamen feuchten Leiter, sich ausgleichenden Stromes zwischen Längs- und Querschnitt, jene Punkte zweier sehnigen Enden berühren, unter Umständen so viel heifsen könne, als Längs- und Querschnitt selbst berühren; wobei ich freilich in noch ausgedehnterem Mafsstabe, als auch noch jetzt, die Unmöglichkeit des Verständnisses im Einzelnen auf Rechnung der verwickelten organischen Formen, welche keine strenge Zergliederung zulassen, zu schieben genöthigt war. Auf keine Weise konnte ich aber durch diese Schwierigkeit bewogen werden, in dem Strome einer ganzen Gliedmafse, eines ganzen Thieres, irgend etwas Anderes zu sehen, als, wie dies oben erörtert worden ist, die Resultante aus allen den Partialströmungen, welche man sich von jedem Muskel ausgehend zu denken hat.

Auf alle Fälle sieht man, wenn der Ausdruck des Gesetzes in meinem »*vorläufigen Abrisse*« auch noch ein wenig vollkommener ist; wenn gewisse feinere Punkte desselben — die schwach wirksamen Anordnungen — mir noch entgangen waren; wenn die Folgerungen dar-

[1] S. das folgende Kapitel. §. 11. 3.

aus des Grades der Reife entbehrten, zu dem sie jetzt vielleicht durch fortgesetztes Nachdenken gediehen sein mögen: in seinen wesentlichen Zügen ist das Gesetz unbestreitbar in jener ersten Bekanntmachung enthalten, und schwerlich wird ein unbefangener Richter anstehen können, mir den Erstbesitz desselben zuzusprechen. Diesen mir streitig zu machen, so weit ihm überhaupt jenes Gesetz klar ist, unterfängt sich jetzt der Italiänische Elektrophysiologe. Die Wichtigkeit des Gegenstandes, die im Laufe dieser Untersuchungen mit jedem Schritte neu hervortreten wird, entschuldige mich beim Leser, wenn ich hier noch einige Blätter der Wahrung meiner gefährdeten Rechte widme.

Als Entdecker des Gesetzes des Muskelstromes mufs, wie mir scheint, Derjenige genannt werden, der zuerst einem blofsen Stücke Muskel einen Strom entlockte; der zuerst in den Stand gesetzt war, an einem ihm gegebenen rectangulären Muskeldurchschnitte, gleichviel ob er von natürlichen oder künstlichen Flächenbegrenzungen, oder beiden zugleich, umschlossen gedacht wird, für jede gegebene Stellung des Bogens Richtung und ungefähre Stärke, oder Nichtvorhandensein des Stromes anzugeben; der ferner aus diesen Erfahrungen, mit mehr oder weniger Erfolg, die Erscheinungsweise des Stromes an einzelnen unversehrten Muskeln, an ganzen Gliederabtheilungen und Gliedmafsen von Thieren, endlich am Galvani'schen Präparate und dem Gesammtfrosche selbst, zuerst abzuleiten bemüht war.

Alles dieses leistet meine Auseinandersetzung im »*vorläufigen Abrisse*«, wie sich zeigen wird, sogar in vollkommenerem Mafse, als Matteucci's allerneueste, fast vier Jahre später erschienenen Bekanntmachungen.

Sehen wir aber zu, wie Matteucci's vor dem »*Abrifs*« veröffentlichte Arbeiten den obigen Forderungen Genüge thun.

In diesen ist ihr Urheber, es ist nicht zu läugnen, vor mir zur ersten rohen Wahrnehmung der Negativität des künstlichen Querschnittes gelangt, dessen Wesen, der oben S. 501. 533 von mir aufgestellten Begriffsbestimmung gemäfs, ihm jedoch fremd geblieben war, da er immer nur im Allgemeinen von der »surface musculaire interne«, dem »muscle interne«, der »partie interne d'une masse musculaire« spricht. Diesem Inneren gleich soll, was ganz sinnlos ist, ein beliebiger Punkt des Nervensystemes wirken. Noch weniger hat er aber eine Vorstellung von dem Gegensatze zwischen dem künstlichen Querschnitte und dem natürlichen oder künstlichen Längsschnitte, wie er oben S. 501. 534 gleichfalls bestimmt worden ist. Sondern die »partie interne« gilt ihm als absolut negativ gegenüber jedem anderen Punkte des Muskels, den der leitende Bogen berührt, der »surface du muscle« sowohl, als der Sehne

(S. 531. 3°); der Sehne, unserem mit einem unwirksamen leitenden Ueberzuge versehenen natürlichen Querschnitte des Muskels, von welcher im »*Abrisse*« steht, dafs sie, ganz im Gegentheile, sich gleichfalls negativ gegen Längsschnitt, dem Querschnitte aber gleichartig verhält (S. oben S. 499. 533). Dies ist Alles, was Matteucci bis hieher vom Gesetze des Muskelstromes weifs: also nicht über einen einzigen Punkt desselben hat er richtige Begriffe. Man sieht, dafs, da Volta, bis auf das Zeichen derselben, die elektromotorische Bedeutung der Sehne wohl kannte (S. oben S. 526), er fast mit ebensoviel Recht, als Matteucci, für den Urheber des Gesetzes des Muskelstromes würde ausgegeben werden können.

Diesem fehlt, um hierauf Anspruch machen zu dürfen, noch so gut wie Alles: abgesehen nämlich von dem Hauptpunkte, der Negativität der Sehne, ihrer Gleichartigkeit mit anderen Sehnen und dem künstlichen Querschnitte unter bestimmten Umständen, von der Einsicht in den Grund dieses auf den ersten Blick so räthselhaften Verhaltens, noch der Nachweis der Gleichartigkeit zweier Punkte des natürlichen Längsschnittes (da wir die schwach wirksamen Anordnungen vorläufig noch ganz aus dem Spiele lassen); der der Gleichartigkeit zweier künstlichen und natürlichen Querschnitte, wie auch eines künstlichen und eines natürlichen Querschnittes. Vom künstlichen Längsschnitte weifs er gar nichts: weder kennt er seine Positivität, gleichmäfsig dem künstlichen und natürlichen Querschnitte gegenüber, noch die Gleichartigkeit zweier Punkte desselben unter sich, oder eines solchen mit einem Punkte des natürlichen Längsschnittes. Dieser ist ihm daher nicht, gegenüber der künstlichen Flächenbegrenzung desselben Namens, ein besonderer Fall des Längsschnittes, ebensowenig wie die Sehne, mit dem künstlichen Querschnitte zusammengenommen, ein besonderer Fall des Querschnittes, sondern blos Oberfläche des Muskels, schlechthin und allgemein. Vom Strome und Stromgesetze an einem beliebigen Muskelbruchstücke weifs er nichts; ja nicht einmal von einem einzelnen Muskel oder Stücke Muskel hat er je einen Strom gesehen, sondern statt, wie es im »*vorläufigen Abrisse*« geschieht und Taf. IV dieses Werkes abgebildet ist, einen und denselben Muskel in verschiedenen Lagen gegen die Enden des ableitenden Bogens zu untersuchen, entnimmt er seine Schlüsse eben so rohen als verwickelten experimentellen Anordnungen, Säulen aus durchschnittenen Thierbeinen u. s. w. Keine Sylbe weifs er von dem bald auf-, bald absteigenden, bald verschwindenden Strome einzelner Muskeln, und, da er nicht durch methodische Zergliederung der Erscheinungen, sondern durch einen beliebigen Zufall auf die Kenntnifs der Negativität des Querschnittes geführt worden ist, keine Sylbe von

dem Ursprunge des Froschstromes, als Resultante aus den Partialwirkungen aller Muskelströme: dieser soll fabelhafter Weise allein den Unterschenkel des Wasserfrosches von der Natur zu zieren bestimmt sein, und hier wird der Achillessehne, aber auch zugleich überhaupt dem ganzen Gastroknemius (S. oben S. 531 unter 7°), eine negative Rolle zugeschrieben; nirgends jedoch findet sich der Beweis, oder auch nur die Meinung ausgesprochen, dafs es die unter der Sehne verborgene Flächenbegrenzung des Muskels und nicht das chemisch, morphologisch, genug in jeder Hinsicht vom Muskel verschiedene Sehnengewebe selbst sei, welches, Volta's Entdeckung nach, und nach den von ihm aufgestellten Grundsätzen, negativ elektromotorisch wirke.

Ich werde jetzt Matteucci's weitere Fortschritte in diesem Gebiete darstellen, und daran zeigen, dafs er auch heutzutage das Gesetz des Muskelstromes noch nicht deutlich aufgefafst hat, wie es im »*Abrisse*« dargelegt ist, geschweige, dafs er etwas von den schwach wirksamen Zusammenstellungen und den feineren Bedingungen der völligen Unwirksamkeit des Muskels wüfste. Zuvor sei es mir erlaubt, meine Meinung noch über eine, freilich in möglichst wohlwollender Absicht geschehene Beurtheilung der in dem »*vorläufigen Abrisse*« enthaltenen Untersuchungen auszusprechen.

Herr Th. L. Bischoff sagt in seinem *Jahresberichte über die Fortschritte der Physiologie im Jahre 1842*,[1] in welchem er die Zuvorkommenheit gehabt hat, meine obschon erst im Beginne des Jahres 1843 erschienenen Untersuchungen bereits zu berücksichtigen, weil dieselben schon im Jahre 1842 angestellt seien: »du Bois-Reymond hat »den Strom sowohl in dem ganzen Frosche von dem Kopfe zu den »Füfsen, als in jedem Muskel von dessen Innerm zu dessen Aeufserm »oder seiner Sehne, als endlich selbst bei einzelnen Fragmenten des »Muskels von seinem Innern gegen sein Aeufseres nachgewiesen.«

Dieser Satz enthält mehrere Irrthümer. Erstlich ist die Richtung des Gesammtfroschstromes in dem Bogen, mit der Richtung der Muskelströme in dem Muskel selbst zusammengestellt, während man sich nothwendig entweder an die eine, oder an die andere Bestimmungsart zu halten hat. Zweitens soll ich den Strom von dem Inneren des Muskels nach seiner Sehne nachgewiesen haben. Ich habe aber vielmehr, und dies war der wichtige Schritt, der mir im Sommer 1842 bei Betrachtung von Borelli's schematischen Muskelabbildungen[2] gelang und ein plötzliches Licht über dies ganze dunkle Gebiet verbrei-

[1] Müller's Archiv u. s. w. Jahrgang 1843. S. xcvi.

[2] De Motu Animalium. Ed. nov. Neapoli 1734. 4°. tab. I.

tete, die morphologische Gleichbedeutung der sehnigen Enden, als des natürlichen Querschnittes, und des künstlichen Querschnittes, zuerst eingesehen und daher nie daran gedacht, den mir von Bischoff zugeschriebenen Nachweis zu führen. Ganz im Gegentheil behauptete ich (S. oben S. 533) die freilich nur in seltenen Fällen zur Erscheinung kommende Gleichartigkeit des künstlichen Querschnittes und des natürlichen unbedingt, um diesen Hauptgrundsatz besonders grell hervortreten zu lassen. Auch ist es keinesweges gleichgültig, ob man Inneres des Muskels schlechtweg, gleich Matteucci, oder, wie ich, Querschnitt desselben sage. Denn durch den Nachweis des Gesetzes an einzelnen Bruchstücken des Muskels, die ringsum von künstlichen Flächenbegrenzungen umgeben sind, und von deren Wirksamkeit Matteucci auch heutzutage noch gar keinen Begriff hat, ist, wie dies später ausführlicher gezeigt werden soll, bereits dargethan, dafs es nicht das ganze Innere des Muskels ist, welches sich negativ verhält gegen sein Aeufseres, sondern das Innere eines aliquoten, noch nicht bestimmten Theiles desselben, augenscheinlich zunächst des Primitivbündels, gegen das Aeufsere eben dieses Theiles. Dies findet sich im vorläufigen Abrisse bereits weitläuftig auseinandergesetzt, und Herr Bischoff mufs mir, nach Bezeichnung dieser wesentlichen Mifsverständnisse, daher gestatten, seinen Ausspruch, dafs meine »Untersuchungen, obschon unzweifelhaft die gründ»lichsten über den betreffenden Gegenstand, doch factisch nicht viel »weiter führen als die von Matteucci«, als eine ihm unabsichtlich entschlüpfte Schmälerung meiner Rechte zu bezeichnen und mich dagegen zu verwahren.

### 3. Matteucci's fernere Arbeiten über das Gesetz des Muskelstromes.

Diese Arbeiten finden sich *Comptes rendus etc.* 23 Janvier 1843. t. XVI. p. 197.* — *L'Institut.* 1843. t. XI. No. 475. p. 36.* — *Annales de Chimie et de Physique.* Avril 1843. 3. Série. t. VII. p. 425.* — *Archives de l'Électricité.* 1843. t. III. p. 5.* — *Annales des Sciences naturelles.* 1843. 2. Série. t. XIX. Zoologie. p. 313.,* endlich aber zusammengefafst im *Traité etc.* 1844. p. 51.* Wir folgen der letzteren Quelle.

Zunächst erfährt man etwas Näheres über Matteucci's Art, den oben beschriebenen Versuch mit den Halbschenkeln vom Frosche anzustellen, und die Gröfse der dabei beobachteten Wirkungen. Die Anordnung ist eine von den bei den Säulen aus Galvani'schen Präparaten üblichen (S. oben S. 229. 232); die Glieder der Säule werden auf ein

gefirnifstes Brett gelegt, in welches kleine Höhlungen eingegraben sind; die beiden äufsersten Glieder befinden sich am Rande dieser Höhlungen und werden von der sie erfüllenden Flüssigkeit bespühlt. In diese taucht Matteucci die bekanntlich äufserst kleinen, und an Oberfläche sich völlig gleichenden Platinenden seines Multiplicators, welche bis dahin in einem anderen Gefäfse geschlossen standen, möglichst gleichzeitig ein, und erhält auf diese Weise, mit destillirtem Wasser als Zuleitungsflüssigkeit 3 — 4°; 6 — 8°; 10 — 12°; 15° von beziehlich 2; 4; 6; 8 Halboberschenkeln von mittlerer Beschaffenheit. War die Zuleitungsflüssigkeit mit Schwefelsäure angesäuert, so gaben 8 Glieder 50°; war sie mit Alkali oder Kochsalz geschwängert, 35°. Die beständigen Ablenkungen betrugen, entsprechend diesen verschiedenen Fällen, 5 — 12°. Man erinnert sich, dafs ein einziger Adductor magnus oder Semimembranosus Cuv. an meiner Vorrichtung die Nadel aufs heftigste wider die Hemmung treibt; die beständige Ablenkung kann, wenn man die Nadel vermöge des Beruhigungsstäbchens sich schneller von dieser übermäfsigen Bewegung erholen hilft, 20° betragen.

Aehnliche rohe Versuche stellt nun Matteucci ferner mit ganzen Stücken aus dem Schwanze eines enthäuteten Aales an. Sie werden, wie die halben Oberschenkel, säulenartig zwischen den Vertiefungen des bekannten Brettes gelagert, indem immer der künstliche Querschnitt (l'intérieur du muscle) des einen Stückes an den natürlichen Längsschnitt (la surface) des nächstfolgenden Stückes stöfst. 2; 5 3 — 4$^{cm}$ lange Stücke gaben in dieser Weise 10°; 28° Ausschlag. Dann schneidet auch Matteucci Scheiben von Muskelfleisch aus dem Rücken von Schleyen und aus den Brustmuskeln von Tauben, und läfst sie auf ähnliche Art säulenartig zusammenwirken. 2; 4 Stücke Schleymuskeln gaben 5 — 6°; 12° Ausschlag; 2; 4; 8 Stücke Taubenmuskeln 2 — 3°; 6 — 7°; 14° Ausschlag. Aehnliche Versuche, die aber nicht im Einzelnen mitgetheilt sind, hat Matteucci an Muskeln von Ochsen, Schafen, Hühnern und anderen warmblütigen Thieren angestellt (l. c. p. 55 bis 59). Diese, nebst dem Aal und Hunde (S. unten), können wir also noch der obigen Aufzählung der Thierarten beifügen, an denen bisher die Erscheinungen des Muskelstromes unmittelbar beobachtet sind.

In diesen Erfahrungen ist, wie man sieht, noch kein anderer Fortschritt enthalten, als der von Matteucci selbst jedoch nicht bezeichnete, dafs sie mit blofsen Stücken Muskel, nicht mehr mit ganzen Gliedmafsen, gewonnen sind. Was die daraus zu entnehmenden Schlüsse betrifft, so ist denn auch in der That ebensowenig eine Weiterbildung derselben bemerkbar. Vielmehr ist dem geheimnifsvollen »courant propre de la grenouille« ein besonderes Kapitel gewidmet, worin

die vorigen Versuche über seine angebliche Zusammensetzung mit dem Muskelstrome von Neuem ausführlich vorgetragen werden. Ja so weit geht Matteucci's Verblendung in Betreff dieses doch so einfachen Punktes, dafs er abermals die ausdrückliche Behauptung wagt: Alle Thiere besäfsen einen Muskelstrom; nur der Frosch sei aufserdem von der Natur mit dem Vorrechte des Froschstromes, d. h. des ohne nachweisbaren Grund in jedem Theile desselben vorhandenen, aufsteigenden Stromes ausgestattet. Er sagt: »Ces vues hypothétiques, qui me »semblent satisfaire d'une manière générale à l'explication du courant »musculaire, et qui sont conformes aux théories actuelles de l'électri»cité, ne peuvent pas malheureusement s'étendre aussi bien aux phé»nomènes du courant propre de la grenouille. J'ai cherché inutilement »l'existence d'un courant analogue au courant propre de la grenouille, »dans un très-grand nombre d'animaux, je n'ai jamais trouvé que le »courant musculaire. Les animaux les plus rapprochés de la gre»nouille, des salamandres, des anguilles, des tortues, ne m'ont jamais »donné que le courant musculaire: dans tous les cas, il a fallu in»variablement, pour obtenir les signes d'un courant électrique, avoir »dans le circuit l'intérieur du muscle et sa surface. Dans la seule »grenouille on trouve en même temps le courant muscu»laire et le courant propre qui existe, sans altérer le »muscle, sans mettre à nu sa partie interne, et qui est »dirigé de la surface du muscle à son nerf dans l'animal.« (Ibid., p. 126. 127.)

Abermals indessen sucht Matteucci sich die Möglichkeit zu vergegenwärtigen, in der Sehne etwas dem Inneren des Muskels Entsprechendes aufzufinden. »En voulant rapprocher l'origine du courant »propre de celle que nous avons admise pour le courant musculaire, »nous devrions supposer que, par une liaison qui nous est tout»à-fait inconnue, et qu'il appartient peut-être à l'anatomie de dé»couvrir, la surface tendineuse qui compose la plus grande partie de »la jambe de la grenouille, représente l'intérieur du muscle; mais »tout cela doit rester dans le domaine des vagues et pures »hypothèses.« (Ibid., p. 129. 130.)

Man sieht demnach, wenn ich nicht irre, klar genug, ein volles Jahr nachdem ich das Gesetz des Muskelstromes bekannt gemacht hatte, fängt der hauptsächlichste Punkt desselben Matteucci erst aufzudämmern an, aber es handelt sich dabei für ihn nur um völlig unbestimmte Vermuthungen, die Ursachen des gleichen Verhaltens der »Sehne« und des »Muskelinneren« (meines natürlichen und künstlichen Querschnittes) sind ihm, nach seinem eigenen gedruckten Geständnisse, vollständig unbekannt.

kel nebst Unterschenkel, und setzt Säulen aus sechs bis acht Gliedern zusammen, »disposing them in such a manner that the inferior extre»mity of the leg, where the tendons unite together, reposes upon the »surface of the muscular masses of the leg.« Diese Säulen, aus Kaninchen- oder Taubenbeinen, gaben ihm 12 — 20° Ausschlag, »directed »in the pile from the tendinous extremities to the muscular surfaces.« Bringe man das Innere der Muskeln des Oberschenkels (den künstlichen Querschnitt des oberen Endes seiner Präparate) mit den Sehnen in Verbindung, so erhalte man den Muskelstrom in umgekehrter Richtung. »Let us then conclude«, sagt Matteucci, »that »touching a mass of » »muscle belonging to a living animal, or an animal recently killed, » »with a homogeneous conducting arch, one extremity of which is in » »contact with the tendon of the muscle, and the other with the » »superficies of the muscle itself, signs of an electric current are ob» »tained, which circulates in the muscular mass, its direction being » »from the tendon to the external surface of the muscle.« This fact »comprehends that of the proper current of the frog.«

Um nun zu erklären, wie es komme, dafs die Sehne und das Innere des Muskels (nach Matteucci) sich gegen seine Oberfläche (nach Matteucci) gleich verhalten können, heifst es: »If I have rightly un»derstood the classical labours of my friend Mr. Bowman, [1] it would

[1] S. diese Untersuchungen in Philosophical Transactions etc. For the year 1840. Part II. p. 457; — For the year 1841. Part I. p. 69; — im Auszuge in Reichert's Bericht über die Fortschritte der mikroskopischen Anatomie im Jahre 1841. Müller's Archiv u. s. w. 1842. S. cclxxx. Das Sarkolemma ist nach Bowman die Hülle des Muskelprimitivbündels, Schwann's secundäre Muskelzellenmembran. Bowman's Ansicht über den Zusammenhang der Muskelfasern und der Sehne stellt Reichert in folgenden Worten dar: »Ueber die Endigungen der primi»tiven Fascikel und ihre Verbindung mit dem Sehnengewebe hat sich der Verfasser »am besten bei Fischen unterrichten können. Es scheint hier eine Partie der... [Sehnen-] .. »Fasern, in der Stärke dem primitiven Muskelbündel entsprechend, »bei der Annäherung des letzteren sich gegen dasselbe auszudehnen und sich un»mittelbar darin zu verlieren. Die Muskelfaser steht also in directem Zusammen»hange mit einer Partie Sehnenfasern, und wird weder von den letzteren umfafst »noch als Bindegewebscheide aufgenommen. Das primitive Muskelbündel endet dabei »nicht, wie Treviranus meint, allmälig spitz, sondern bleibt so dick, wie an an»deren Stellen. Alle Fibrillen sollen ferner von gleicher Länge sein, mit einer »Fläche am Ende abschliefsen und ebenso im Querdurchschnitte eine Scheibe dar»stellen, wie im Verlaufe des Muskels. Auch das Sarkolemma hört plötzlich auf.« A. a. O. S. cclxxxiii. Mit dieser Scheibe (disc, s. weiter unten im Text), welche Matteucci ohne Weiteres als das Zink, die Hülle als das negative Metall, das Blut als den feuchten Leiter der Muskelkette anspricht — hat es folgende Bewandtnifs. Bowman hat nämlich darauf aufmerksam gemacht, dafs der Zustand, in dem man die Muskelfasern meistens findet, wo sie rosenkranzförmige Schnüre vorzustellen

»follow that the extremities of the elementary muscular fibres are im-
»mediately connected and continued with the tendinous fibre; while
»the sarcolemma which invests the muscular fibre ceases abruptly
»where the tendon begins. On the strength of this disposition I can-
»not abstain from emitting an hypothesis upon the origin of the proper
»current, which would reduce all that we know on the
»subject of animal electricity to one principle alone. Let
»it be granted that the tendinous fibre, from its structure, from its
»connections with the muscular fibre, and from its conductibility, re-
»presents the internal part of the muscle, and that the sarcolemma,
»on the contrary, is distinguished under this aspect from the muscular
»fibre; then the case of the proper current, or of the current from
»the tendon to the muscular surface, becomes at once the simplest
»and most general case of the muscular current. We must never
»forget the analogy between the muscular electro-motor element and
»the Voltanian element: the zinc is represented by the discs of the
»muscular fibre, the acid liquid by the blood, the platinum by the
»sarcolemma. Whatever be the conducting body with which the zinc
»is made to communicate with the platinum, the current is always in
»the same direction. If it be well proved by anatomy that the ten-
»dinous extremities are continuous with the extremities of the muscu-
»lar fibres, and that the sarcolemma which envelopes the muscular
»fibre alone, and not the tendon, is not continous, is not as it were
»identified with the muscular fibre, the analogy between the muscular
»element and that of VOLTA is complete and perfect.«

Inzwischen hatte, in der vierten Auflage des ersten Bandes seines *Handbuchs der Physiologie u. s. w.* (1844), JOH. MÜLLER von meinen Untersuchungen Folgendes gesagt, nachdem er MATTEUCCI's erster rohen Erfahrungen über die Negativität des künstlichen Querschnittes Erwähnung gethan: »DU BOIS-REYMOND hat durch noch weiter gediehene »feine und sichere Beobachtungen die allgemeinen Principien gefunden, »aus denen alle hierher gehörigen Thatsachen als besondere Fälle ab-

scheinen, nur ein zufälliger und besonderer sein dürfte. In anderen Fällen, vorzüglich nach der Aufbewahrung in Weingeist, sieht man das Bündel vielmehr in Scheiben zerfallen, so dafs es wie eine Geldrolle oder VOLTA'sche Säule daraus zusammengesetzt ist; und BOWMAN schliefst in REICHERT's Worten: »Der Inhalt der »primitiven Muskelfascikel scheint hienach aus knopfartigen Segmenten oder Partikel»chen in solcher Ordnung zusammengesetzt, dafs derselbe eben so leicht in Schei»ben als in Fibrillen sich trenne. Welche von diesen Formen sich zufällig dem »Beobachter darstellen, das wird von dem Betrage der Adhäsion abhängen, welche »zwischen den knopfförmigen Segmenten der Länge derselben nach oder seitwärts »untereinander besteht.« (A. a. O.)

»zuleiten sind. Ein durch das Galvanometer nachweisbarer Strom ent»steht, wenn der künstliche Querschnitt eines Muskels mit seiner »Oberfläche, d. h. seinem Längsschnitte, durch einen Bogen in lei»tende Verbindung gesetzt wird. Dem Querschnitte des Muskels gleich »wirkt die Sehne des Muskels, welche als Ueberzug des natürlichen »Querschnittes der Muskelbündel zu betrachten ist. Jedes ausgeschnit»tene Muskelbündel oder Stück eines Muskelbündels reicht zur Ent»wickelung eines Stromes hin, wenn sein Querschnitt mit seiner Ober»fläche durch einen leitenden Bogen verbunden wird.« [1]

In allen seinen früheren Arbeiten hat Matteucci der meinigen, wie schon bemerkt, mit keiner Sylbe Erwähnung gethan. Nachdem er nun aber auch seine Entdeckung der Einerleiheit von Frosch- und Muskelstrom, wie man gesehen hat, in Sicherheit gebracht hat, hält er es an der Zeit, Kenntnifs von denselben zu nehmen. Er schreibt einen Brief an Dumas unter dem Titel: »*Expériences sur les phénomènes de la contraction induite*«, der, seltsam genug, vorzugsweise von meinen Untersuchungen handelt. »Je ne puis pas m'expliquer«, springt er plötzlich von einer Erörterung über den chemischen Ursprung des Muskelstromes ab, »comment le célèbre physiologiste de Berlin, M. Müller, »peut dire, dans son *Manuel de Physiologie*, que l'on vient de dé»couvrir en Allemagne les principes généraux qui peuvent expliquer »les faits que j'ai découverts. Ces principes généraux se réduisent »à ceux-ci: »Un courant électrique se produit lorsque la coupe trans» »versale d'un muscle vient à être mise en communication par un arc » »avec sa coupe longitudinale.« Plutôt qu'un principe géné»ral, il me semble qu'il n'y a là qu'une formule brute et »incomplète de mes phénomènes. Je crois inutile de rassem»bler ici toutes les observations que je pourrais faire pour prouver »cette vérité, ce qui, au reste, serait très-facile pour tous ceux qui »ont suivi mes travaux. Du reste, je dois ajouter, qu'en lisant le »Mémoire de M. du Bois-Reymond, dans les *Annales de* Poggendorff, »je n'ai pas trouvé que ce physiologiste, qui est, à ce que je sais, »le seul qui ait confirmé et varié mes expériences en Allemagne, ait »donné, sur l'origine du courant musculaire et du courant propre, »des idées différentes des miennes.« [2] Il aurait été à désirer que ce »physiologiste eût émis dans son travail moins d'idées hypothétiques »et qu'il eût fait surtout plus d'expériences. Mais, en général, j'ai

[1] A. a. O. S. 557.' — Vergl. Manuel de Physiologie par M. J. Müller etc. traduit de l'Allemand par M. Jourdan. Paris 1845. t. I. p. 557.'

[2] Hierüber s. unten, Kap. VIII. §. v.

»trouvé, dans différents points de son Mémoire, qu'il parle de l'action »du sang artériel sur la fibre musculaire. Il est juste de dire »que, quoique d'une manière incomplète, il a le mérite »d'avoir indiqué le premier le rôle de la substance tendi»neuse dans le courant propre, tel que je viens de l'établir dans »mon dernier Mémoire.«

## 4. Zurechtweisung Matteucci's in Betreff des Gesetzes des Muskelstromes.

Man sieht, wenn ich nicht irre, hieraus klar, dafs Matteucci den »*vorläufigen Abrifs*« kennt. Er giebt zu, ihn gelesen zu haben. Er gesteht ein, dafs ich zuerst die Bedeutung der Sehne in diesem Gebiete von Erscheinungen erkannt habe. Ich mufs mich aber dagegen verwahren, jemals der »substance tendineuse« irgend eine Rolle bei der Erzeugung des Froschstromes zugeschrieben zu haben. Vielmehr steht in meinem »*Abrisse*« ausdrücklich geschrieben, dafs es sich durch eine Reihe von Versuchen, die wir demnächst kennen lernen werden, darthun lasse, dafs das Sehnen- und Bindegewebe sich als unwirksamer feuchter Leiter verhalten (S. oben S. 533).

Der einzige Fortschritt, der Matteucci nun endlich in Betreff des Gesetzes geglückt ist, ist die Einsicht in die Negativität der Sehne. Er behauptet aber, ich hätte die Rolle der Sehnensubstanz beim Froschstrome unvollkommener bezeichnet, als er selbst in seiner vorher im Auszuge mitgetheilten Arbeit. Die Dreistigkeit dieser Behauptung ist grofs. Sehen wir zu, welche Vorstellung er selbst sich von jener Rolle macht. Seine Versuche erstens sind folgende:

Er hat, drei Jahre nach mir, Säulen aus Gastroknemien und Unterschenkelstreckern zusammengestellt und von ihnen aufsteigenden Strom erhalten. Dasselbe hat er mit gewissen Armmuskeln des Frosches gethan, und gleichfalls einen aufsteigenden Strom von der unteren Sehne in der Richtung nach dem Muskelbauche erfolgen sehen. Bei warmblütigen Thieren hat er es zu schwierig gefunden, die Muskeln frei herauszupräpariren, und hat daher Säulen aus 6—8 Beinen solcher Thiere aufgebaut, in denen die Achillessehne mit der Oberfläche der Muskelmassen des Unterschenkels in Verbindung stand. So gelingt es ihm, an seinem Multiplicator höchstens 20° Ausschlag in der Richtung von der Sehne zur »Oberfläche« im Muskel zu erhalten; der Strom wird schwächer, hört auf oder kehrt sich um, wenn am oberen Ende die abgehackten Stümpfe — man sehe die Abbildungen — statt der Muskeloberfläche in den Kreis gezogen werden.

Dieses sind die zahlreichen, einfach-zierlichen Versuche, mit welchen der Physiker zu Pisa in die Schranken tritt, und die meinigen mit verächtlichem Blicke mifst. Hierauf gründet er den Schlufs, dafs man, beim Anlegen eines gleichartigen Bogens an Sehne und Oberfläche einer Muskelmasse, einen Strom im Muskel von der Sehne zur Oberfläche erhalte; und dies darum, weil, wenn er Bowman's Arbeiten recht verstanden habe, die Sehne Muskelprimitivbündelinhalt sei, oder die Muskelprimitivbündel mit Sehnengewebe erfüllt seien! Das ganze Geheimnifs des Muskelstromes kommt fortan in seiner Meinung darauf zurück, dals der Primitivbündelinhalt als positives Glied eines Volta-schen Kreises von dem Blute als saurer Flüssigkeit (!) angegriffen werde, wobei die Hülle der Bündel die Rolle des negativen Metalles spiele! Dafs die Capillargefäfse das Blut nicht ins Innere der Bündel durch offene Mündungen ergiefsen; dafs man nicht einen Volta'schen Kreis aus einer mit Säure gefüllten Platinschale zusammensetzen kann, welche ein Zinkkloben, ohne in die Säure zu tauchen, nur metallisch berührt; dies kümmert ihn bei seinem sinnreichen Gleichnisse eben so wenig, als dafs an tagealten ausgeschnittenen Muskeln, die noch Strom zeigen, doch wohl schwerlich noch an Blutumlauf und dadurch bedingten Stoffwechsel zu denken sein möchte!

Der Leser wird mit mir einer Meinung sein, dafs Matteucci die Arbeiten seines Freundes in der That mifsverstanden hat, und dafs Dieser wenig Grund haben dürfte, Jenem dankbar zu sein für die höchst abentheuerlichen Behauptungen, die er ihm unterlegt. Der Leser wird einverstanden sein, wenn ich ferner sage, dafs Matteucci noch sehr weit entfernt ist, die Rolle des Sehnengewebes bei den thierisch-elektrischen Strömen so erkannt zu haben, wie dies von mir vor bereits vier Jahren geschehen war.

Was den Versuch betrifft, so ist erstens zu bemerken, dafs, während ich einen einzigen, möglichst regelmäfsig gefaserten Muskel unter den mannigfaltigen Bedingungen der Untersuchung am Multiplicator unterwarf, die mir lehrreich sein zu können schienen, er sich, seiner schlechten Methode der Ableitung der Ströme halber (S. oben S. 227), genöthigt sieht, stets mit ganzen Säulen von Muskeln zu arbeiten, wodurch es ihm natürlich unmöglich gemacht ist, sich auf jede feinere Feststellung des Einflusses einzulassen, den diese oder jene geringe Veränderung der Lage der Multiplicatorenden ausübt u. s. w., da sich dieselbe nicht mit Sicherheit zehn- oder zwölfmal in ganz übereinstimmender Weise ausführen läfst, und da die Ableitung im Innern der Säulen durch die thierischen Theile selbst, an ihren Enden aber durch die Multiplicatorenden geschieht. Seine Versuche an Säulen von ganzen

Gliedern warmblütiger Thiere kommen dabei vollends aufser Rechnung. Ich behaupte daher sogar, und die Zukunft wird meine Vorhersage bestätigen, dafs Matteucci, wenn er nicht zu dem nach den Ohm'schen Grundsätzen vervollkommneten Nobili'schen oder vielmehr Volta'schen Verfahren zurückkehrt, wie ich es befolge, es nun und nimmer dahin bringen wird, mein Gesetz des Muskelstromes selbst zu bestätigen. Um die Rolle des Sehnengewebes, gleich mir im »*vorläufigen. Abrisse*«, erforscht zu haben, müfste Matteucci folgende Punkte darthun: 1) die unter Umständen zu beobachtende Gleichartigkeit zweier sehnigen Enden an Vorrichtungen von der Empfindlichkeit der meinigen; 2) die sich gemeiniglich kundgebenden Ströme in der einen und der anderen Richtung gleichfalls beim Auflegen zweier sehnigen Enden; 3) den auf- und absteigenden Strom an einem und demselben Muskel, je nachdem die obere oder die untere Sehne gegen »Oberfläche der Muskelmasse«, um uns dieses Ausdruckes zu bedienen, aufgelegt wird. Alles dieses fehlt ihm noch, und aufserdem die Einsicht in den wahren Grund für das gleiche Verhalten der Sehne und des künstlichen Querschnittes. So zeigt es sich, dafs Matteucci nicht einen einzigen Versuch hat, der sich nicht im »*Abrisse*« vollständiger, einfacher, schlagender fände; dafs aufserdem hier eine Menge von Erfahrungen zu lesen sind, von denen Jener sich noch lange Nichts wird träumen lassen. Matteucci hat noch heutzutage keinen Begriff von dem Wesen des Querschnittes als künstlicher Flächenbegrenzung im Verhältnifs zur Sehne; nirgends hat er die Gleichartigkeit zweier künstlichen Querschnitte, zweier im Allgemeinen, wie der Versuch es mit sich bringt, symmetrisch zur Mitte des Muskels gelegenen Punkte des natürlichen Längsschnittes nachgewiesen; noch weniger besitzt er eine Vorstellung von dem künstlichen Längsschnitte; Nichts weifs er von der Gegenwart des Stromes an jedem beliebigen Muskelbruchstücke, geschweige von dem Gesetze an demselben, welches sich im »*Abrisse*« schon bis ins Mikroskopische verfolgt findet. Die schwach wirksamen Zusammenstellungen von Punkten einer und derselben Art Flächenbegrenzung, die ich erst in diesem Werke beschrieben habe, lassen wir, verabredetermafsen, gänzlich aufser Acht.

So steht es mit Matteucci's heutiger Kenntnifs des Gesetzes des Muskelstromes. Und nichtsdestoweniger scheut er sich nicht, in seiner Blindheit, den Ausdruck, der diese Mannigfaltigkeit ihm unbekannter Erscheinungen unter einem bündigen Satze befafst, wie er in Müller's »*Handbuch*« aufgenommen ist, für »eine rohe und unvollständige Formel seiner Phänomene« auszugeben; seiner Phänomene, während jener Satz sich auf Dinge bezieht, die er nie gesehen hat, und auf

dem Wege, auf dem er sich befindet, nie und nimmermehr wird wahrnehmen können! Nicht nur wagt er dies, sondern er erdreistet sich, meinen verehrten Lehrer zu verunglimpfen, weil dieser in meinem Gesetze das allgemeine Princip anerkannt hat, aus dem alle hierhergehörigen Thatsachen als besondere Fälle abzuleiten sind. Matteucci thut dieses im September 1845, und unterm 26. März desselben Jahres hat er selbst der Pariser Akademie seine angebliche Entdeckung der Negativität der Sehne als das wichtigste Ergebnifs angekündigt, zu dem er in neuerer Zeit gelangt sei (S. oben S. 542); unterm 7. April aber schreibt er an die Königliche Gesellschaft zu London, indem er diese vermeintliche Neuigkeit überschickt; »nun sei das eine Princip gefun»den, auf welches sich alles, was wir bisher von thierischer Elektri»cität wüfsten, zurückführen liefse.« (S. oben S. 545.) Wie stimmen diese völlig entgegengesetzten Behauptungen über den Werth einer und derselben wissenschaftlichen Thatsache, je nachdem sie mir zugesprochen wird, oder ihm anzugehören scheinen soll, in Matteucci's Munde zusammen?

Den hämischen Angriff, den Matteucci sich im Uebrigen auf meine Arbeit erlaubt, darf ich mit Ruhe ansehen. Ich habe ihn nicht herausgefordert, vielmehr, wo ich irgend konnte, ihn in meinem »*Abrisse*« mit aller Treue und Freundlichkeit angeführt. Was meine allzuwenigen Versuche, meine allzuausgedehnten Hypothesen betrifft, so wollen wir abwarten, wessen Methoden der Untersuchung sich zuletzt am förderlichsten erwiesen haben werden. Ich wiederhole freilich nicht, wie dies bei Matteucci wohl schon vorgekommen ist, zwanzigmal Versuche als höchst merkwürdig, deren Ergebnifs sich, nach den Ohm'schen Grundsätzen, im Schlafe vorhersehen läfst.[1] Insofern mag die Mehrzahl der Versuche immerhin auf Matteucci's Seite sein. Die Hypothesen, die mir vorgeworfen werden, habe ich im »*vorläufigen Abrisse*« ausdrücklich mit den Worten eingeleitet: »Dafs ich in Folgendem zu verschie»denen Malen den Boden der unmittelbaren Erfahrung verlasse, ist mir »wohl bewufst, allein die Hypothesen, welche ich mitzutheilen gedenke, »tragen einmal das Gepräge einer hohen Wahrscheinlichkeit an sich, »zweitens eröffnen sie die Aussicht auf eine Reihe der interessantesten »Untersuchungen. Ich vorenthalte sie folglich nicht.«[2] Ich habe nie gehört, dafs es dem Gange der Wissenschaft geschadet habe, wenn der völlig nackten thatsächlichen Darstellung zahlreicher Beobachtungen schliefslich der ganz davon getrennt gehaltene Versuch beigefügt wurde,

[1] S. unten, Kap. III. §. III. 4. (1).
[2] A. a. O. S. 16. §. 42.

einen inneren Zusammenhang in denselben durch Vermuthungen, die als solche bezeichnet wurden, herzustellen. Dazu kommt, dafs sich ein guter Theil jener theoretischen Voraussichten bereits bestätigt hat, welche mir nun MATTEUCCI, ohne mich zu nennen, entlehnt.[1] Je freimüthiger ich bereits im Vorhergehenden manchen Irrthum gerügt habe, in den ich damals durch Uebereilung verfallen sein mag; je mehr ich gesonnen bin, dies im Folgenden fort und fort zu thun; je peinlicher ich überall danach strebe, MATTEUCCI in allen, auch den unbedeutendsten Punkten, sein Recht widerfahren zu lassen; um so deutlicher fühle ich meine Berechtigung, gegen die Anmafsungen dieses Forschers den Werth einer Arbeit zu verwahren, welche, das Ergebnifs mehrjähriger Anstrengungen, die Entdeckung des Gesetzes des Muskelstromes, der Schwankung desselben bei der Zusammenziehung, des Nervenstromes und die Theorie der elektromotorischen Fische enthält.

---

Ich glaubte, als ich dieses bereits im vergangenen Jahre schrieb, den leidigen Gegenstand nunmehr auf sich beruhen lassen zu dürfen. Dem sollte nicht so sein. Es scheint, dafs MATTEUCCI, durch mein langes Stillschweigen, sich noch weiter zu gehen ermuthigt gefunden hat. Er hat seitdem, seiner Sitte gemäfs, seine Entdeckung der Negativität der Sehne und der daraus gefolgerten Einerleiheit von Frosch- und Muskelstrom an drei Orten von Neuem bekannt gemacht, ohne meiner Erwähnung zu thun. Mit einer Unbefangenheit, von der es mir psychologisch schwer fällt, mir eine Vorstellung zu machen, schreibt er an DUMAS: »J'ai été satisfait d'être parvenu à démontrer »que ce courant existe dans tous les animaux, qu'il est dû à une »structure particulière que j'ai déterminée des faisceaux musculaires, et »qu'il n'est, suivant toutes les probabilités, qu'un cas de courant mus»culaire.«[2] Man sieht, jetzt ist es schon nicht mehr MATTEUCCI's Freund Hr. BOWMAN, sondern er selbst, welchem er die Entdeckung des wunderbaren Baues der Muskelprimitivbündel und der Sehnen zuschreibt (S. oben S. 544).

Es ist gewifs auffallend, und doch habe ich Nichts dahinter suchen

[1] S. unten, Kap. III; — Kap. VIII. §. v; — Kap. X. §. III.

[2] Comptes rendus etc. 17 Août 1846. t. XXIII. p. 356. 357.* — Annales de Chimie et de Physique. Septembre 1846. 3. Série. t. XVIII. p. 114.* — Archives des Sciences physiques et naturelles. Supplément à la Bibliothèque universelle de Genève. 4. Série. 1. Année. 15 Septembre 1846. t. II. p. 399.* — Leçons sur les Phénomènes physiques des Corps vivants par C. MATTEUCCI. Édition française. Paris 1847. Dixième Leçon. p. 212.*

wollen, dafs Matteucci im März 1845 die Negativität der Sehne und die Einerleiheit von Frosch- und Muskelstrom einsieht, sich dabei unter andern derselben Muskeln als ich bedient, und kurz darauf meine eigne Arbeit vom Januar 1843 über dieselben Gegenstände kennen lernt. Indessen trägt die dritte Lieferung der Uebersetzung von Müller's *Handbuch der Physiologie* die Jahresaufschrift 1845, und wir wollen also glauben, dafs Matteucci erst dadurch auf meinen Aufsatz in Poggendorff's *Annalen u. s. w.* aufmerksam gemacht worden ist. Vom September 1845 an aber kennt er, eingestandenermafsen, meine Abhandlung. Wie darf er nunmehr, ohne mich zu nennen, »das wich»tigste Ergebnifs s e i n e r neuesten Untersuchungen« dreimal hintereinander bekannt machen, wenn er ausführlich weifs, dafs es dort, so viele Jahre früher, des Breiteren auseinandergesetzt ist? wie sich die Frucht des Nachdenkens und der Mühen Anderer, wie ihm wohl bewufst ist, ohne Scheu aneignen? Dies thun, indem man zugleich Denjenigen, dessen Rechte man kränkt, mit bitterem Spotte unverdienter Weise überhäuft, weil man ihn, den ungelesenes Deutsch Schreibenden, vermuthlich machtlos unbedeutend wähnt, dies heifst, in eben dieser Sprache, wenn ich nicht irre, Plagiat begehen unter erschwerenden Umständen.

Indessen füge ich mich mit Ergebenheit in mein Schicksal. Ich erinnere mich, und fast hätte ich Grund, mich geehrt zu fühlen, in welcher Gesellschaft ich mich befinde. Ich vergafs, dafs es auf dem ausgedehnten, von Matteucci heimgesuchten Gebiete der Wissenschaft, von Faraday [1] und Ohm [2] herab, der Physiker nicht gar viele mehr giebt, die nicht gleiche Beschwerde über Jenen zu führen hätten. Ich bedachte nicht, dafs die Geschichte unserer Literatur uns kaum ein zweites Beispiel von einer so lange Zeit hindurch mit immer erneuter Kühnheit fortgesetzten Ausbeutung fremder Bestrebungen aufzuweisen hat. Mich hat folglich nur ein gemeines Loos getroffen, und auch Matteucci begegnet Nichts Neues, wenn er hier schliefslich und abermals dem Unwillen aller Derjenigen, die geistiges Eigenthum hochschätzen, überantwortet wird.

[1] Man sehe Poggendorff's Annalen u. s. w. 1835. Bd. XXXV. S. 260 Anm.; — Jahresbericht über die Fortschritte der physischen Wissenschaften. Von Jac. Berzelius. 31. März 1836. Deutsch von Wöhler. Tübingen 1837. S. 37.

[2] S. unten, Kap. III. §. III. 4 (1); — Kap. V. §. I. 2.

# Drittes Kapitel.

## Erörterung des elektromotorischen Wirkungsgesetzes des Muskelgewebes.

### §. I.

### Von der Anordnung der wirksamen und der unwirksamen Bestandtheile in dem Muskelgewebe.

Soll uns die Entdeckung des Gesetzes des Muskelstromes wahrhaft fruchtbar werden, so dürfen wir es nicht dabei bewenden lassen, die Erscheinungsweise des Stromes am Muskel in ihren äufseren Zügen erkannt zu haben, sondern wir müssen versuchen, tiefer in das Verständnifs der Anordnung ungleichartiger Gebilde einzudringen, welche jener Erscheinungsweise, nach physikalischen Gesetzen, zu Grunde liegen mufs oder kann. Dies soll die Aufgabe dieses Kapitels sein, deren grofse Schwierigkeiten wir uns nicht verhehlen wollen.

Das Erste, was uns demgemäfs zu leisten bevorsteht, ist, die Untersuchung, die wir mit dem gesammten enthäuteten Körper des Frosches begannen, noch tiefer ins Innere des Muskels fortzusetzen; d. h. nämlich von den mannigfaltigen morphologischen Bestandtheilen der Muskeln denjenigen auszuscheiden, wenn es einen einzigen solchen giebt, der der Sitz der beim Muskelstrom wirksamen Ungleichartigkeiten ist, oder, wenn der Strom auf einem Zusammenwirken mehrerer jener Bestandtheile beruhen sollte, eben diese zu bestimmen. Das Ergebnifs dieser Untersuchung läfst sich zwar mit der gröfsten Wahrscheinlichkeit vorhersehen; es ist klar, dafs es das Primitivmuskelbündel sein wird, in welchem wir das eigentliche erregende Glied der Muskelkette finden werden, und wir haben, dieser natürlichen Voraussicht gemäfs, auch bereits oben keinen Anstand genommen, den Strom schlechthin als Muskelstrom zu bezeichnen: indessen die Behutsamkeit, mit welcher hier jeder Schritt überwacht werden mufs, erfordert es, dafs wir uns auch von diesem Punkte, obschon er anscheinend einleuchtet, strengere Rechenschaft abzulegen suchen.

Das Vortheilhafteste und Entscheidendste zu diesem Behufe wäre unstreitig, wenn es uns gelingen könnte, die einzelnen Gewebe, aus denen der Muskel sich zusammensetzt, im Versuche wirklich von einander zu sondern und getrennt auf ihre elektromotorischen Eigenschaften zu untersuchen. Es liegt am Tage, dafs dies ein Ding der Unmöglichkeit ist und es bleibt daher nichts übrig, als zunächst die Grenze aufzusuchen, bis zu welcher es bewerkstelligt werden kann, sodann aber weiter zu sehen, ob sich uns irgend eine nutzbare Gestaltung des Versuchs und der Induction darbietet, mit deren Hülfe wir diese Grenze zu überschreiten vermögen.

Den Anfang zu diesem Unternehmen haben wir auch bereits oben S. 505 gemacht, indem wir einen gesetzmäfsigen Strom auch an solchen Bruchstücken eines Muskels wahrnahmen, welche von allen Seiten durch künstliche Flächenbegrenzungen eingeschlossen sind. Man findet, dafs, aus welchen Theilen des Muskels und aus welchen Muskeln auch diese Bruchstücke entlehnt seien, endlich wie klein man sie auch nehme, sie doch stets das nämliche Verhalten darbieten. Es gilt dabei natürlich zuletzt dasselbe, was von der Erforschung der Muskeln einiger Thiere oben S. 522 erinnert wurde; es ist nicht mehr möglich, die Ströme zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnittes und des Querschnittes allein aufzuzeigen, ja selbst auf die Prüfung der unwirksamen Lagen mufs schliefslich Verzicht geleistet werden, und man kann nur noch beim Auflegen der beiden Querschnitte gegen die Längsschnitte nach Willkür bald den aufsteigenden, bald den absteigenden Strom im Muskel vom Querschnitte zum Längsschnitte erfolgen sehen. Die Vervielfältigung der Beobachtungen lehrt aber, dafs man es dabei mit keinem Zufall zu thun habe, und es kann um so weniger ein Zweifel an der Richtigkeit derselben aufkommen, als man, bei der Untersuchung immer kleinerer Muskelbruchstücke, nie eine Lücke vorfindet, vielmehr die Gröfse der Wirkungen, stets dem Gesetze entsprechend, bis zum Mikroskopischen immer kleiner und kleiner werden sieht.

Bei meinen ersten, im »*vorläufigen Abrisse*« dargelegten Untersuchungen (S. oben S. 534) hatte ich mich damit begnügen müssen, dies für Fetzchen Muskelgewebe von nur ungefähr 2.5$^{mm}$ Länge auf 0.5$^{mm}$ Dicke nachzuweisen, welche ich mit der Cooper'schen Scheere aus dem künstlichen Längsschnitte eines Muskels darstellte. Diese Fetzchen, welche oft nur aus 10 — 15 Primitivmuskelbündeln bestanden, gaben mir in ihren wirksamen Lagen 8 — 10° Ausschlag, durch Umlegen 15 — 18°. Später ist es mir geglückt, 8 — 10° Ausschlag durch Umlegen von einem einzigen wirksam aufgelegten Primitivmuskelbündel zu erhalten, welches ich mit einer scharfen Pinzette in

etwa 4$^{mm}$ Länge vom künstlichen Längsschnitte losrifs und mit dem freien Ende abwechselnd gegen den einen und gegen den andern Bausch hielt, während ich es dergestalt bog, dafs es in einem Theile seiner Länge den anderen Bausch berührte.

Bei der mikroskopischen Untersuchung zeigten sich natürlich in vielen Fällen diese Muskelbruchstücke und -Primitivbündel mit Gefäfsbruchstücken, Bindegewebe und Primitivnervenfasern verunreinigt. Es kam aber auch vor, dafs ich, aller Nachforschung ungeachtet, nicht vermochte, eine Spur von Nervenröhren zu entdecken.[1] Dies scheint unmittelbar zu beweisen, dafs die Gegenwart von Primitivnervenfasern in dem gewöhnlichen Sinne des Wortes, zur Erzeugung des Stromes nicht nothwendig sei. Ich füge hinzu, im gewöhnlichen Sinne des Wortes, weil das Dasein feinerer Formelemente des Nervensystemes über die Primitivnervenfasern hinaus, wie man sie in den Stämmen antrifft, bekanntlich vielfach behauptet wird, und ich für die Anwesenheit solcher in den bezeichneten Fällen allerdings nicht aufkommen mag. Noch bedenklicher möchte es sein, trotz dem Anscheine, die völlige Abwesenheit von Bindegewebefasern in einzelnen Fällen zu behaupten. Leichter geht dies, wenigstens so lange sie mit Blut gefüllt sind, für die Bruchstücke von Gefäfsen an.

Dies ist also der Punkt, bis wo es uns mit der unmittelbaren Beobachtung vorzudringen verstattet ist, und es könnte demnach vor Allem der Beweis verlangt werden, dafs der Muskelstrom nicht von der Gegenwart eines jener fremden Gewebe abhängig sei. Dieser Beweis, wenn er überhaupt noch nothwendig erscheint, liegt in Folgendem.

Der Strom ist erstens stets, und zwar in derselben Stärke und Richtung vorhanden; er befolgt stets dasselbe Gesetz, welches Bezug hat auf die Formverhältnisse der Muskelelemente, während auf der anderen Seite die Gegenwart des Nerven- und des Bindegewebes in den untersuchten Muskelbruchstücken einer Menge von Zufälligkeiten unterworfen ist, was sich nicht mit einander reimen läfst.

Für's zweite müfste man, um die Vorstellungsweise, der Strom gehe von den Primitivbündeln aus, von der Hand zu weisen, doch im Besitze irgend einer andern annehmbaren Hypothese über den Sitz seines Ursprunges sein. Gehen wir in dieser Hinsicht den vorhandenen Möglichkeiten nach, so erkennen wir ihrer drei, welche sich aber, bei näherer Betrachtung, sämmtlich als unhalthar erweisen.

Man könnte zunächst fragen, da wir noch kein anderes Gewebe einzeln auf eine elektromotorische Thätigkeit untersucht haben,

[1] S. meinen »vorläufigen Abrifs u. s. w.« A. a. O. S. 5. 6. §. 16.

ob nicht eine solche z. B. bei den Nerven an und für sich vorhanden sei, welche wegen der im Muskel verzweigten Nerven hinreiche, auch den Muskelstrom zu erklären. Zuvörderst ist dagegen zu erinnern, dafs durch diese Annahme das Ungereimte nicht gemildert wird, welches in dem Herleiten einer beständigen Wirkung aus einer zufälligen oder unbeständigen Ursache liegt. Sodann wird sich zwar wirklich zeigen, dafs sämmtliche Gewebe, freilich in sehr verschiedenem Mafse, mit elektromotorischer Thätigkeit begabt sind, die auch bei den meisten mehr oder weniger treu das nämliche Gesetz einhält, wie bei den Muskeln; allein gleichzeitig wird es an Gründen nicht fehlen, welche es undenkbar machen, dafs der Muskelstrom herrühre von der eignen elektromotorischen Wirksamkeit eines nur in die Muskeln eingemischten Gewebes, vielmehr wird erhellen, dafs um so weniger auch dem Muskelgewebe selber eine solche Wirksamkeit abzusprechen sei. [1]

Es könnte ferner Einer Gefallen an der Meinung finden, eine geheimnifsreiche Wechselwirkung zwischen den Muskeln und den darin vorhandenen Nervenfasern — an das Bindegewebe wird in diesem Sinne nicht leicht gedacht werden — möge die Ursache des Stromes sein, und die Gegenwart von Nerven in dieser Hinsicht für das Erscheinen desselben eine unerläfsliche Bedingung abgeben. Abgesehen von dem Abentheuerlichen dieser aus der Luft gegriffenen Hypothese, welche durch keine Analogie unterstützt wird und der keine klare Vorstellung zu Grunde liegt, wäre noch der Umstand vorzuhalten, dafs, wie wir gesehen haben, die Entfernung der Centralgebilde des Nervensystemes und aller Verzweigungen der Nerven, so weit sie sich ausführen läfst, ohne Einflufs auf den Strom bleibt, was schwer mit jener Ansicht zu vereinigen sein dürfte (S. oben S. 120. 480).

Endlich und drittens habe ich noch denjenigen Genüge zu leisten, welche es vorziehen sollten, sich bei dem Gedanken zu beruhigen, dafs der Strom, statt von dem Muskelgewebe allein, von einer elektromotorischen Wechselwirkung seinen Ursprung nimmt, die bei der Berührung der ungleichartigen Gewebe im Innern des Muskels stattfinde. Ich habe zwar bereits oben S. 481 ff. einer in der Wissenschaft althergebrachten Meinung entgegen, zuerst theoretisch einsichtlich gemacht, sodann aber auch durch den Versuch dargethan, dafs, bei der Berührung von Muskel, Nerv, Sehne u. s. w. keine elektromotorische Wirkung stattfinde, welche zur Erklärung des Stromes verwandt werden könnte. Allein es möchte der Einwand erhoben werden, dafs dies zwar für die, mit ihrer natürlichen, mit Bindegewebe bekleideten

[1] S. unten, Kap. VI. §. I. 1; — §. III. 4.

und mit der allgemeinen thierischen Feuchtigkeit benetzten Oberfläche einander berührenden Gewebe im Ganzen und Grofsen richtig sein könne, ohne deshalb für die Berührung z. B. des Primitivmuskelbündels und der Primitivnervenfaser selbst gelten zu müssen.

Vor Allem ist jedoch hier wieder an die Regelmäfsigkeit der Erscheinungsweise des Stromes, dem Zufälligen dieser vorausgesetzten Ursache gegenüber, zu erinnern. Sodann fahren die theoretischen Gründe, die gegen die elektromotorische Wirksamkeit der Berührung der verschiedenen Gewebe, wenn sie mit natürlichen Flächenbegrenzungen einander treffen, für die künstlichen Längsschnitte zu gelten fort. Haben sich aber jene Voraussichten im Versuch für die natürlichen Begrenzungen bestätigt, so ist es mindestens sehr wahrscheinlich, dafs dies auch, wenn der Versuch statthaft wäre, für die künstlichen der Fall sein würde. Es läfst sich der Versuch übrigens wirklich für den künstlichen Längsschnitt des Muskels anstellen, und der Erfolg ist der nämliche, als wenn der natürliche Längsschnitt angewendet wäre.

Ueberdies wird die Folge lehren,[1] dafs wenn man auf der einen Seite Muskelfleisch, auf der anderen den organisch damit verbundenen Nerven auflegt, der Nerv positiv oder negativ erscheinen kann, je nach der Beschaffenheit der vom Bausch berührten Stelle des Muskels sowohl als derjenigen, an welcher sich der Nerv in den Muskel versenkt. Dies beweist, dafs die Ungleichartigkeit, welche den Strom hervorbringt, nicht zwischen Muskel und Nerv, sondern an dem Muskel selber zu suchen sei.

Aehnliche Folgerungen lassen sich, wenn auch nicht für das Bindegewebe im Innern des Muskels unmittelbar, doch für das Sehnengewebe und für das den natürlichen Längsschnitt bekleidende Bindegewebe ziehen, woraus, wegen der innigen morphologischen und chemischen Verwandschaft aller drei, ein höchst wahrscheinlicher Schlufs in Betreff des Verhaltens des ersteren beim Muskelstrome verstattet ist. Dafs das Sehnengewebe mit der Erzeugung desselben nichts zu schaffen hat, ergiebt sich daraus, dafs der künstliche Querschnitt das sehnige Ende des Muskels in seiner negativen Rolle vollständig ersetzt und, wie für die Nerven, auch noch daraus, dafs die Sehne sich, je nachdem man künstlichen Längsschnitt oder künstlichen Querschnitt gegen sie auflegt, beziehlich negativ oder schwach positiv (S. oben S. 504) verhält. Für das Bindegewebe des natürlichen Längsschnittes ist wiederum zu bemerken, dafs es, ohne Schaden für den Strom, entfernt werden kann, da ja auch ringsum von künstlichen Flächenbegrenzungen eingeschlossene

[1] S. unten, Kap. VI. §. 11. 4.

Muskelbruchstücke gesetzmäfsig elektromotorisch wirken. Dann aber läfst sich auch folgendermafsen zeigen, dafs in dem Falle des Stromes zwischen natürlichem Längsschnitte und künstlichem Querschnitte, der Strom nicht darauf beruhe, dafs das gesammte Muskelinnere sich negativ gegen das positive Bindegewebe des Muskelumfanges verhalte.

Zwischen dem Bausche, der sonst den Querschnitt berühren würde, und diesem, schalte man einen der Quere nach gelagerten Muskel ein, so dafs er einerseits den Bausch, andererseits den künstlichen Querschnitt des ersten, wie gewöhnlich aufliegenden Muskels, nur mit natürlichem Längsschnitte berührt (S. Fig. 50, Taf. V). Man hat alsdann die symmetrische, und daher unwirksame Anordnung: Bausch, Bindegewebe, Muskelinneres, Bindegewebe, Bausch; nichtsdestoweniger erscheint beim Schliefsen der Strom ungeschwächt, zum Zeichen, dafs der Sitz der Ungleichartigkeiten noch an einem anderen Orte zu suchen ist, als an der Grenze zwischen Muskelinnerem und Bindegewebe. So müfste auch die Anordnung unwirksam sein, wo man zwischen dem natürlichen Längsschnitte und dem entsprechenden Bausche einen Muskel der Länge nach dergestalt einschaltet, dafs er einerseits den Bausch, andererseits den natürlichen Längsschnitt, mit künstlichem Querschnitte berührt (S. Fig. 51, Taf. V); denn man hat die symmetrische Kette: Bausch, Muskelinneres, Bindegewebe, Muskelinneres, Bausch. *Allein* auch sie giebt den Strom in unverminderter Heftigkeit.

Es bleibt nach alledem, wie man sieht, durchaus nichts anderes übrig, als zu der Vorstellung zurückzukehren, die sogleich als die natürlichste erschien, dafs es nämlich das Primitivmuskelbündel selber ist, in dem der Strom erzeugt wird. Und ich bevorworte alsbald, dafs an die hier aufgeführten Gründe für diese Ansicht sich in der Folge noch eine Menge anderer, von verschiedener Art zwar, jedoch nicht geringerem Gewichte, anschliefsen wird. Jetzt fragt es sich aber, ob nicht vielleicht einfach die Hülle des Primitivmuskelbündels das positive, das Innere desselben hingegen das negative Glied der Muskelkette abgebe.

Diese Frage ist, aus mehrfachen Gründen, entschieden zu verneinen. Im folgenden Paragraphen wird gezeigt werden, dafs, obschon eine solche Anordnung ungleichartiger Gebilde im Allgemeinen nach dem Gesetze des Muskelstromes wirksam sein könnte, dennoch gewisse feinere Züge desselben, nämlich die schwachen Ströme zwischen verschiedenen Punkten des Längs- und des Querschnittes, alsdann vermifst werden würden. Eine noch spätere Folge wird ohnedies lehren, dafs der Muskelstrom Eigenthümlichkeiten besitzt, welche mit dieser Annahme in Betreff seines Ursprunges ganz unverträglich sind. Aber ab-

gesehen von dem Allen läfst sich auch unmittelbar zeigen, dafs die elektromotorische Thätigkeit ihren Sitz nicht an der Grenze zwischen der Hülle und dem Inhalte habe, und zwar auf dieselbe Weise, wie dies so eben für das Bindegewebe des natürlichen Längsschnittes geschah (Fig. 50, Taf. V). Der Versuch ist Fig. 52. Taf. IV. abgebildet. Die beiden Bäusche sind einander auf 1.5$^{mm}$ nahe gebracht, und mit Eiweifshäutchen ($e$,$e'$) bekleidet. Auf den einen kommt der Länge nach ein Bruchstück eines Muskels zu liegen, welches aus möglichst wenig Primitivbündeln besteht. Dann wird der Spalt zwischen den Bäuschen mit einem eben solchen Bruchstück überbrückt, dessen Querschnitt aber nicht den Bausch, sondern den Längsschnitt des ersteren Bruchstückes berührt. Glimmerstücke ($g$, $g_{,}$, $g_{,,}$) verhindern, wie die Figur zeigt, die verschiedenen Querschnitte an ungehöriger Berührung der Bäusche. Die Anordnung ist wirksam, was sie nicht sein dürfte, wenn der Strom an der bezeichneten Stelle seinen Ursprung nähme, da man alsdann die symmetrische Kette haben würde: Bausch, Hülle, Inhalt, Hülle, Bausch. Ich habe den Versuch zu oft wiederholt, und zwar stets mit gleichem Erfolg auch in Fällen, wo später das Mikroskop der ganzen Ausdehnung des aufgelegten Umfanges entlang die reinen Umrisse der Hüllen der Primitivbündel zeigte, als dafs ich dem Einwande Gehör schenken könnte, dafs stets in diesen Fällen Bindegewebe als unwirksames Glied eingeschoben gewesen und die Kette dadurch asymmetrisch und wirksam gemacht worden sei.

Mit diesem Ergebnisse stimmt denn auch sichtlich die durch keine saure oder alkalische Reaction ausgezeichnete Beschaffenheit der Muskelbündelhülle. Es scheint vielmehr klar, dafs wir es in derselben mit einem unwirksamen leitenden Ueberzuge zu thun haben, der die Ungleichartigkeiten, auf denen der Strom beruht, erst in sich einschliefst. Welcher Art diese Ungleichartigkeiten seien; wie überhaupt, der Analogie zuwider, welche die Spannungsreihe der Metalle darbietet, eine Kette aus blos flüssigen Leitern einen Strom entwickeln könne (Vergl. oben S. 92. 489), davon soll an einem späteren Orte die Rede sein:[1] hier handelt es sich vor der Hand allein darum, Sitz und Anordnung jener Ungleichartigkeiten festzustellen. Die Lösung dieser Aufgabe, so weit sie überhaupt möglich ist, fällt dem folgenden Paragraphen anheim; wir beschliefsen den vorliegenden mit einer Bemerkung, die bestimmt ist, einem Mifsverständnisse vorzubeugen, wodurch das Vertrauen leicht gefährdet werden könnte, welches die jüngstgewonnenen Ergebnisse in Anspruch nehmen.

[1] S. unten, Kap. VIII. §. v. 1. und 4. Abschn.

Es wird nämlich in der Folge sich als wahrscheinlich herausstellen, dafs, so wenig als man am künstlichen Längsschnitte jemals das positive Glied der Muskelkette zu berühren vermag, das negative Glied jemals am Querschnitte unbedeckt erscheint, indem entweder im unversehrten Muskel eine solche Anordnung der ungleichartigen Gebilde stattfindet, dafs ein jeder künstliche Querschnitt von vorn herein mit einer Schicht unwirksamen Leiters bekleidet erscheint, oder eine derartige Schicht sofort bei Herstellung des Querschnittes durch die mechanische Mifshandlung, die Berührung mit der atmosphärischen Luft oder gar den Bäuschen erzeugt wird.[1] Man könnte nun daraus entnehmen wollen, dafs der Schlufs, der auf die Versuche Fig. 50 — 52 Taf. IV. V. gegründet wurde, ein Zirkelschlufs gewesen sei. In der That beweisen diese Versuche an und für sich nichts weiter, als dafs entweder am Längsschnitte oder am Querschnitte oder an beiden zugleich eine Schicht unwirksamen Leiters vorhanden sein müsse. Da nun, aller Wahrscheinlichkeit nach, der künstliche Querschnitt sich entweder alsbald mit einer solchen Schicht überzieht, oder von vorn herein bereits damit überzogen ist, so scheint es, als verlören jene Versuche ihre Beweiskraft für die Gegenwart einer ähnlichen Schicht am Längsschnitte, die dann nämlich nicht mehr nothwendig sein würde, um die Wirksamkeit der Anordnung zu rechtfertigen. Allein es ist *erstens* zu erinnern, dafs das vorausgesetzte Unwirksamwerden des künstlichen Querschnittes durch äufsere Einflüsse sich allein auf die Vor*stellungs*weise beziehen kann, wonach eine äufserst zarte und leicht zerstörbare Vertheilung ungleichartiger Gebilde im Innern des Muskels die Ursache des Muskelstromes enthält, wo dann durch jedes schädliche Zutreffen, welches Absterben des Gewebes mit sich bringen mag, beide, das positive sowohl als das negative Glied, gleichzeitig in ihrer elektromotorischen Wechselwirkung beeinträchtigt werden. Von einer solchen Zerstörung kann aber nicht mehr die Rede sein, und die obigen Schlüsse bleiben daher in Kraft, sobald man die Voraussetzung machen will, dafs der gesammte Inhalt der Bündel sich als negatives Glied der gesammten Hülle entgegenstellt. Wird aber für's zweite der künstliche Querschnitt von vorn herein als mit einer unwirksamen leitenden Schicht bekleidet angesehen, so bedingt diese Annahme allein schon die Voraussetzung der unwirksamen Beschaffenheit der Muskelbündelhülle, wenigstens sobald man sich nicht, ohne allen Vortheil, in eine Reihe der unwahrscheinlichsten und unerwiesensten Hypothesen begeben will.

[1] S. unten, §. II. 7; — §. III. 4 (II); — Kap. V.

## §. II.

## Von der Anordnung der ungleichartigen Bestandtheile in dem Primitivmuskelbündel.

### 1. Vorläufige Betrachtungen über die Fortpflanzung des Stromes in nicht prismatischen Leitern.

Wir sind also jetzt so weit gekommen, zu wissen, dafs der Strom von dem Innern des Primitivbündels ausgeht, über welches die Hülle einen unwirksamen leitenden Ueberzug vorstellt, und die zunächst liegende Aufgabe ist, die Vertheilung der ungleichartigen Gebilde in diesem Innern zu ermitteln, wodurch eine Anordnung der Ströme, wie wir sie wahrgenommen haben, bedingt sein mufs oder kann. Allerdings läfst sich gegen dieses Vorhaben einwenden, dafs wir, durch die Versuche, diese Anordnung am Primitivbündel selbst nicht mehr mit aller Genauigkeit haben erfahren können; indessen sieht man nicht ein, inwiefern durch die Verminderung des Durchmessers des Cylinders, welchen der Muskel vorstellt, das Gesetz der Ströme am blofsen Längs- oder Querschnitte, welche wir allein nicht mehr unmittelbar zu untersuchen vermochten, beeinträchtigt sein sollte.

Es handelt sich also darum, eine Anordnung ungleichartiger Gebilde zu ersinnen, deren elektromotorische Wirkungen nicht nur denen durch das oben aufgestellte Gesetz bezeichneten möglichst genau entsprechen, sondern welche, wohlbemerkt, auch die Bedingung erfüllt, dafs sie, querdurchschnitten, auf den dadurch zu Tage geförderten neuen Flächenbegrenzungen stets wieder dieselben Eigenschaften entfalte.

Auf den ersten Blick scheint folgende Vorrichtung diese Bedingungen zu erfüllen. Man denke sich einen durch und durch kupfernen, am Mantel verzinkten, an den Grundflächen roth gebliebenen Cylinder. Legt man einen aus einem feuchten Leiter bestehenden Bogen mit einem seiner Enden an den Mantel, mit dem anderen an eine der Grundflächen dieses Cylinders an, so wird man stets in dem Bogen einen Strom haben in der Richtung von dem Punkte des Mantels zum Punkte der Grundfläche. Schneidet man den Cylinder senkrecht auf seine Axe durch, so bleibt das Gesetz der Ströme an jedem Bruchstücke desselben unverändert, da jede der neuen Grundflächen sich wieder negativ gegen den positiven Mantel verhält.

So weit leistet also die Anordnung, was sie soll. Indessen so leichten Kaufes kommen wir hier nicht davon. In der That, legen wir jetzt beide Enden des Bogens an zwei beliebige Punkte des Mantels

allein, oder der Grundfläche allein an, so wird niemals ein Strom entstehen. So verhielt sich die Sache nicht am Muskel. Hier gaben sowohl zwei Punkte des Längsschnittes, als auch des Querschnittes allein, stets einen schwachen Strom, in der allgemeinen Richtung von dem dem mittleren Querschnitte näher gelegenen Punkte zu dem davon entfernter, den Mittelpunkten der Endquerschnitte näher gelegenen Punkte. Diese Ströme fehlen an unserem Schema, und es kommt darauf an, dasselbe mit dem Umstande zu bereichern, auf welchem ihre Erscheinung an dem natürlichen Elektromotor beruhen mag.

Es ist im vorigen Paragraphen bereits angedeutet worden, dafs dieser Umstand die Gegenwart einer unwirksamen leitenden Hülle rings um die ungleichartigen Gebilde ist. Diesen Satz haben wir jetzt zu untersuchen und zu beweisen. Man denke sich jenen Cylinder versenkt in eine gleichfalls cylindrische Masse eines feuchten Leiters, welche auf allen seinen Punkten eine Schicht von gleicher Höhe bildet. Sogleich wird diese Schicht, in ihrer ganzen Ausdehnung, von einem Strömungsvorgange in der Richtung vom Zink nach dem Kupfer hin eingenommen werden, dessen Eigenthümlichkeiten wir zunächst bestimmen wollen. Um uns dies Geschäft zu erleichtern, verlassen wir das allzuverwickelte Bild des Cylinders, und halten uns an die Betrachtung eines einfacheren Schema's, von dem wir mit genügender Sicherheit auf jenen werden zurückschliefsen können, und das wir auf folgende Weise gewinnen.

Man denke sich eine, mit einem feuchten Leiter erfüllte Rinne von rectangulärem Querschnitte ausgegraben in Gestalt eines dem Cylinderdurchschnitte entsprechenden Vierecks, und die inneren Wände dieser Rinne an den langen Seiten mit Zink, an den kürzeren mit Kupfer bekleidet; die ungleichartigen Metalle aber an den vier Ecken mit einander in Verbindung: so findet in derselben ein Strömungsvorgang statt, dessen Betrachtung dieselbe wesentliche Schwierigkeit darbietet, als diejenige des Vorganges am Cylinder.

Man sieht bald, indem man sich denselben klar zu machen sucht, wie diese Schwierigkeit in dem Umstande liegt, dafs die Länge der Flüssigkeitsstrecke zwischen entsprechend gewählten Punkten der ungleichartigen Metalle nicht stets eine und dieselbe ist, wie sonst in den gewöhnlichen galvanischen Vorrichtungen, sondern dafs sie von Null bis zu einer bestimmten Grenze hin wächst, wodurch zugleich eine verschiedene Stärke der Strömung auf den verschiedenen Punkten des feuchten Leiters bedingt ist; ferner darin, dafs der Elektricität nur ein unendlich schmaler geradlinigter Weg, aufserdem aber, in der Flüssigkeit, unendlich viele krummlinigte Bahnen eröffnet sind, die sie, ver-

möge sogleich in Erinnerung zu bringender Gesetze, gleichfalls auszufüllen nicht verabsäumen darf. Dafs, zu beiden Seiten des Zinks, negatives Metall, oder zu beiden Seiten des Kupfers, positives befindlich ist; dafs die Metalle in der Flüssigkeit unter einem ausspringenden rechten Winkel aneinanderstofsen, dies sind minder bedeutende Nebenverhältnisse, von denen wir, um uns mit jenem Hauptpunkte ungehindert befreunden zu können, uns für jetzt denn auch gleichfalls noch lossagen wollen. Wir halten daher die eine kurze und die eine lange Seite unserer Rinne vor der Hand geschlossen, denken uns die beiden anderen geradlinig ausgestreckt, und unsere Aufgabe beschränkt sich somit zunächst auf die Ermittelung, wie der Strömungsvorgang in einer Schicht feuchten Leiters beschaffen sein werde, welche zwei in einer Flucht ausgebreitete ungleichartige, in gerader Linie aneinanderstofsende Metalle bedeckt (Fig. 53, Taf. V, im Durchschnitt).

Die Erforschung der Elektricitätsbewegung in so gestalteten Leitern, dafs sie derselben nach mehreren Ausdehnungen hin Raum geben, hat bekanntlich mit nicht geringen Schwierigkeiten zu kämpfen. Folgendes ist eine gedrängte Uebersicht der Leistungen, die wir in diesem Gebiete vorfinden, um darauf fufsend uns der Lösung jener Aufgabe zu nähern.

Der Erste, der sich, lange Zeit vor der Ohm'schen Gesetzgebung, mit der Betrachtung von Fällen der Art befafste, war meines Wissens Cavendish in jener so reichhaltigen Arbeit über die Nachahmung der Wirkungen des Zitterrochens mit Hülfe der gemeinen Elektricität.[1] Wie eng die Erforschung des Schlages der Zitterfische mit der Kenntnifs des Verhaltens des elektrischen Stromes unter diesen Umständen verknüpft sei, wird später einleuchten, wo wir selbst uns dadurch werden darauf zurückführen lassen.[2] Bis dahin war ziemlich allgemein die Meinung gewesen, und es ist bemerkenswerth, dafs man sie nicht selten noch viel später ausgesprochen findet, die Elektricität folge allein dem Wege des besten Leiters, und lasse alle übrigen völlig unberührt: ein Irrthum, zu dem die falsche Deutung der Wahrnehmung verleitet hatte, dafs z. B. der menschliche Körper, als Nebenschliefsung zu einem metallischen Leiter angebracht, welcher eine Kleist'sche Flasche entladet, keine Erschütterung erfährt. Cavendish stellte nun die Lehre auf, dafs die Elektricität gleichmäfsig alle Bahnen einschlage, die ihr dargeboten werden; dafs aber durch die besser leitenden Bahnen eine gröfsere, durch die

[1] Philosophical Transactions etc. For the year 1776. vol. LXVI. Part I. p. 196.

[2] S. unten, Kap. X. §. 11.

schlechter leitenden eine geringere Menge derselben abfliefse; und er erklärte jenen Versuch durch den im Vergleich zu dem der Metalle, wie er zeigte, ganz unermefslich zu nennenden Widerstand der feuchten Leiter. Diese Grundsätze gelten begreiflich, gleichviel ob es sich um Verzweigungen der Strombahn handelt, welche ihrer ganzen Ausdehnung nach von einander getrennt sind, oder ob dieselben gleichsam mit einander verwachsen sind, wie in dem Falle, wo der Strom aus beschränkten Elektrodenflächen sich in eine nach allen Seiten weit ausgedehnte Masse eines feuchten Leiters ergiefst. Es wird also der Strom ebensowohl dem äufseren Umfange des Elektrolyten von einer Elektrode zur anderen hin folgen, wie unregelmäfsig gestaltet derselbe auch sein möge, als er sich andererseits des kürzesten Weges bedient, der sich möglicherweise geradlinig zwischen den Elektroden vorfindet; nur dafs hier die Stromstärke in dem Verhältnisse bedeutender ausfallen wird wie dort, als der Widerstand dieser kürzeren demjenigen jener längeren Strecke nachstehen mag.

Man wird es unstreitig für mafsgebend, sei's für die Schwierigkeit des Gegenstandes, sei's für Cavendish's Scharfsinn, halten, wenn ich sogleich bevorworte, dafs, von hier ab bis zu Kirchhoff's Arbeit in der neuesten Zeit, volle siebenzig Jahre hindurch, dieser Angelegenheit theoretisch im Grunde kaum ein weiterer Fortschritt geglückt ist. Alles Nachfolgende ist nur als immerhin schätzbare Bestätigung und Befestigung der ausgesprochenen Grundbestimmungen anzusehen.

Cavendish's Erfahrungen und theoretische Betrachtungen dehnte zunächst Volta, abermals auf Anlafs der Zitterfische, auf den Strom der Säule aus. [1] S. darüber auch Zamboni, bei Gelegenheit seiner zweigliederigen Säule. [2]

Mit der Vertheilung des Stromes in einem rhombischen Stücke Stanniol, in welches er durch zwei gegen einander über liegende Ecken ein- und wiederum austritt, haben sich, in der ersten Zeit nach der Oerstedt'schen Entdeckung, nacheinander Berzelius und Ampère beschäftigt. [3] Dieser bildet in dem Rhombus ein System von Strömungscurven ab, welche von dem Punkte des Eintrittes zu dem des Austrittes zwischen der beide verbindenden Diagonale und den Seiten des Rhombus sich dergestalt erstrecken, dafs sie einerseits in die erstere, andererseits

[1] L'Identità del Fluido elettrico col così detto Fluido galvanico vittoriosamente dimostrata. Memoria comunicata al S. P. Configliachi. Pavia 1814. 4°. p. 75.

[2] Gilbert's Annalen der Physik. 1819. Bd. LIX. S. 170.

[3] Annales de Chimie et de Physique. Février 1821. t. XVI. p. 113. 119; — auch in Recueil d'Observations électro-dynamiques etc. par M. Ampère. Paris 1822. p. 93. 99.

in die aus den letzteren zusammengesetzte gebrochene Linie als Grenzen übergehen; eine Eigenschaft, welche sichtlich Hyperbeln zukommen würde. In dieselbe Zeit ungefähr fallen einige Bemerkungen POUILLET's und BIOT's über diesen Gegenstand, welche von keinem grofsen Belange sind. S. dieselben in FECHNER's Uebersetzung des BIOT'schen »*Lehrbuches u. s. w.*« Bd. IV. S. 200.*

Die jetzt am meisten gebräuchliche Art, die Stromverbreitung in einem Leiter zu erforschen, besteht darin, dafs man an zwei Punkte desselben die beiden Enden eines unwirksamen leitenden Bogens anlegt, in welchen der Multiplicator als stromprüfende Vorrichtung eingeschaltet ist und alsdann von einem durch Nebenschliefsung gewonnenen Strome durchkreist wird. Die Erfindung dieses Verfahrens, welches, wie sich bald zeigen wird, für uns von der gröfsten Wichtigkeit ist, legt NOBILI ausdrücklich DE LA RIVE bei, zu dessen Gunsten er selbst sich der Vorhand begiebt.[1] Indessen gebührt dieses Verdienst augenscheinlich FÖRSTEMANN, der bereits 1824, ein Jahr vor dem Genfer Physiker, Versuche der Art beschrieb.[2] Nach FÖRSTEMANN kommen ziemlich gleichzeitig POHL[3] und DE LA RIVE,[4] etwas später sodann PFAFF.[5] POHL suchte, was natürlich gar keinen Sinn hat, eine Uebereinstimmung zwischen den von ihm in den Elektrolyten verzeichneten Strömungscurven, und den magnetischen Curven, wie sie sich in Eisenfeile darstellen. PFAFF fügte zu den Ergebnissen dieser verschiedenen Beobachtungen, welche ganz mit den von CAVENDISH aufgestellten Grundsätzen zusammenfallen, noch die Bestimmung hinzu, dafs die Verbreitung des Stromes um so bedeutender sei, je schlechter die Flüssigkeit leite. Dasselbe hatte schon VOLTA an der oben angeführten Stelle S. 85 bemerklich gemacht, indem er berichtet, dafs die Ableitungsversuche, bei denen er sich des menschlichen Körpers als stromprüfender Nebenschliefsung bediente, mit besser leitenden Flüssigkeiten weit mangelhafter von Statten gingen als mit reinem Wasser. Allein es ist dagegen einzuwenden, dafs, da der Strom sich zwischen zweien Nebenleitungen im umgekehrten Verhältnisse ihrer Widerstände vertheilt, die Stärke des abgeleiteten

[1] Memorie ed Osservazioni edite ed inedite. Firenze 1834. vol. I. p. 7. Nota 1.*

[2] KASTNER's Archiv für die gesammte Naturlehre. 1824. Bd. I. S. 30.*

[3] Ebendas. 1824. Bd. II. S. 180;* — POHL, der Proceſs der galvanischen Kette. Leipzig 1826. S. 5 ff.*

[4] Annales de Chimie et de Physique. Février 1825. t. XXVIII. p. 203.* (20 Janvier 1825.)

[5] GEHLER's physikalisches Wörterbuch u. s. w. Bd. IV. 1828. Abth. II. Artikel »Galvanismus« S. 963.* — Eine Zusammenstellung der Erfahrungen FÖRSTEMANN's, POHL's und PFAFF's s. in FECHNER's Lehrbuch u. s. w. 1829. S. 186.*

Stromarmes unmöglich als Mafs der Verbreitung angesehen werden kann, wenn nicht der Widerstand der Nebenschliefsung zugleich mit dem der Hauptleitung in dem nämlichen Verhältnisse verändert wird. Durch dieselbe Betrachtung mufs bis auf Weiteres auch Pfaff's am Multiplicator gewonnene Erfahrung als entkräftet angesehen werden: bis nämlich entweder die Theorie das von ihm angegebene Verhalten als nothwendig anerkennt, oder bis der Versuch, von dem ausgesprochenen Makel frei, mit demselben Erfolge wiederholt worden ist.

Die sogenannten farbigen Ringe Nobili's (apparenze elettro-chimice, apparences electro-chimiques) bestehen, wie Jedermann weifs, darin, dafs in gewissen Elektrolyten sich auf die Elektroden äufserst dünne durchsichtige Schichten mannigfacher Zersetzungsstoffe ablagern, durch deren wechselnde Dicke, bei wechselndem Abstande von einem gewissen Wirkungsmittelpunkte, die Erscheinung glänzend gefärbter Kreise zum Vorschein kommt. Es ist leicht zu begreifen, wie bei bekannter Abhängigkeit der Färbung und der Dicke der Schichten untereinander und bei vorausgesetzter Proportionalität jener Dicke und der Stromesdichtigkeit, die an einer bestimmten Stelle entstehende Färbung als relatives Mafs dieser letzteren angesehen werden könne, und wie somit aus dieser Wirkungsweise des Stromes ein Mittel zur Erforschung seiner Zerstreuung unter mancherlei sonst vielleicht nicht zugänglichen Umständen zu entnehmen sei. Der elektrische Strom vermag dergestalt gleichsam selber in hoher Farbenpracht Curven gleicher Dichtigkeit zu verzeichnen. Nobili hat diesen Weg empfohlen; [1] von Pouillet war derselbe übrigens schon viel früher, bei der oben erwähnten Gelegenheit, jedoch begreiflich in weit unvollkommenerer Weise eingeschlagen worden, als dies nach Nobili's Untersuchung der farbigen Ringe möglich wurde; neuerdings hat ihn, wie wir sehen werden, jedoch nicht mit hinlänglichem Bedacht, der jüngere Becquerel betreten.

Dies ist, was vor der Entdeckung des Ohm'schen Gesetzes, oder wenn später, doch wenigstens nicht vom Standpunkte desselben aus, in diesem Gebiete verhandelt worden ist. Es wäre vielleicht nur hinzuzufügen, dafs Faraday, wiederum, wie Cavendish und Volta, bei Gelegenheit eines Zitterfisches, die nicht weiter mit Gründen belegte Vermuthung geäufsert hat, dafs die Strömungscurven, welche nach ihm, äufserlich den magnetischen Eisenfeilcurven vergleichbar, den unter Wasser befindlichen Gymnotus im Augenblicke des Schlages umgeben, mit den Curven seiner statisch-elektrischen Induction einerlei sein möch-

[1] Memorie ed Osservazioni ec. p. 56* (24 Dicembre 1833); — Bibliothèque universelle etc. Ancienne Série. Sciences et Arts. 1835. t. LIX. p. 263. 416.*

ten; [1] und ferner könnte einiger Klassen elektrischer Erscheinungen gedacht werden, in deren Wesen es liegt, dafs eine Zerstreuung des Stromes dabei stattfinden mufs, so dafs die nähere Erkenntnifs derselben aufs engste mit dem Fortgange dieser Lehre verknüpft scheint: erstens nämlich des Falles der Stromvertheilung über einen vergleichweise unendlich grofsen Querschnitt, in den Versuchen von Basse, Paul Erman und Aldini, [2] welche, wie auch die ältesten Erfahrungen Deluc's (1749) über eben diesen Punkt mit Reibungselektricität, den Keim zu der jetzt durch ihre technische Anwendung so wichtig gewordenen Bestimmung des Widerstandes des Erdbodens durch Steinheil, Jakobi u. A. enthalten; für's zweite der thermoëlektrischen Versuche an gleichartigen Metallmassen, Kegeln, Würfeln u. d. m. von Sturgeon; [3] endlich drittens der Strömungen in den unter Magneten kreisenden Arago'schen Scheiben, nebst den zahlreichen übrigen Zusammenstellungen der Art, welche in Folge der Entdeckung der Induction ans Licht getreten sind. Indessen ist deutlich, dafs alle diese Anordnungen zu verwickelt sind, als dafs ihre Betrachtung in dem hier gewünschten Sinne bereits hätte förderlich ausfallen können.

Wenden wir uns jetzt zu den näheren Bestimmungen, welche, durch das Ohm'sche Gesetz, den oben ausgesprochenen, von Cavendish herrührenden Grundprincipien zu Theil geworden sein mögen. Es ist erstens einsichtlich, dafs nun mit Sicherheit das Verhältnifs vorliegt, in welchem sich die Elektricität zwischen den mannigfaltigen ihr dargebotenen Wegen vertheilt. Dies Verhältnifs erweist sich nämlich genau als das umgekehrte der Leitungswiderstände der Wege. Wenn dieselben eindeutig vorliegen, wie in dem Falle völlig von einander getrennter prismatischer Nebenzweige, so wird also die Vertheilung des Stromes nunmehr leicht verfolgt werden können, denn fürs zweite ist durch jenes Gesetz dieser Widerstand als der Länge der Wege gerade, dem Querschnitte und dem eigenthümlichen Leitungsvermögen derselben jedoch umgekehrt proportional erkannt. Etwas Anderes ist es unter den Umständen, wie wir sie hier eigentlich im Auge haben, wo nämlich der Elektricität die Wege nicht durch isolirende Schranken vorgeschrieben, sondern ihr selbst zu wählen in einer ausgedehnten, unbegrenzt oder beliebig begrenzt zu denkenden Masse eines Leiters überlassen sind.

[1] Experimental Researches in Electricity. (Collected from the Philosophical Transactions) vol. II. London 1844. Series XV. November 1838. p. 12. No. 1784.*

[2] Gilbert's Annalen der Physik. 1803. Bd. XIV. S. 26. 385.* — Aldini, Essai théorique et expérimental sur le Galvanisme. Paris 1804. 4°. 2. Partie. p. 205.*

[3] Philosophical Magazine etc. July 1831. vol. X. p. 1.*

Alsdann wird es sich zunächst darum handeln, diese Wege zu erkennen und ihren Widerstand zu bestimmen.

Es giebt einige wenige Fälle, wo dies mit Hülfe der blofsen Anschauung ausgeführt werden kann. Ein solcher ist von Poggendorff theoretisch behandelt worden.[1] Er hat den Widerstand bestimmt, den der Flüssigkeitsring in einer cylindrischen Elektromotorzelle dem Strome entgegensetzt. Es fällt in die Augen, dafs bei concentrisch in einander befindlichen Erregerplatten der Strom sich radial von der einen zur anderen fortpflanzen werde. Die ganze Länge, die er zu überschreiten hat, ist daher gleich dem Unterschiede der Halbmesser der Cylinder; der Querschnitt der Strombahn hingegen ist für jeden Punkt derselben ein anderer, nämlich gleich dem Producte aus der Höhe der Cylinder in ihren Umfang an der gerade betrachteten Stelle. Man hat daher über den Quotienten aus diesem Producte in das Differential des Halbmessers zwischen den durch die Halbmesser beider Cylinder bestimmten Grenzen zu integriren, so kennt man den Widerstand des cylindrischen Flüssigkeitsringes. Es ist klar, dafs dasselbe Verfahren für ein blofses Stück dieses Ringes, welches durch radiale Flächen begrenzt wäre, passend sein würde; ebenso für eine Hohlkugel, zwischen deren innerer Wand und einer centrisch darin steckenden kugelförmigen Elektrode ein Strömungsvorgang stattfände, sodann für kegel- oder pyramidenförmige Bruchstücke dieser letzteren Anordnung, welche, radial abgespalten, durch Kugelschalen als Grundflächen begrenzt wären.

Allein schon für den Fall der Ausbreitung des elektrischen Stromes aus einer Spitze gegenüber einer Platte reicht die Anschauung nicht aus, den Gang des Stromes zu bestimmen, oder vielmehr, sie lehrt, dafs sich derselbe nicht mehr geradlinig verbreiten könne, und dafs daher zur Rechnung gegriffen werden müsse, um die Wege desselben ausfindig zu machen. Edmond Becquerel hat sich durch die scheinbare Einfachheit dieser Anordnung zu der Vorstellung verleiten lassen, dafs die Ausbreitung dabei geradlinig stattfinde, und danach die Dicke der Schicht eines auf der Platte niedergeschlagenen Zersetzungsstoffes, welcher in den Nobili'schen Ringen spielt, unter der Voraussetzung berechnet, dafs dieselbe an jeder Stelle der Stärke des Stromes gerade, diese aber dem Abstande der Spitze von der betrachteten Stelle der Platte umgekehrt proportional sei. Ist die Spitze der Platte sehr nah, so kann man ihre Entfernung von derselben gegen den Halbmesser der Ringe vernachlässigen, und die aus optischen Versuchen bestimmte rela-

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1842. Bd. LV. S. 47. Anm.; — vergl. Daniell ebendas. 1843. Bd. LX. S. 387, mit Bemerkungen des Herausgebers.

tive Dicke der Schicht an gewissen Punkten der Platte mit dem Abstande dieser Punkte von der Projection der Spitze auf die Platte multiplicirt, mufs also ein constantes Product geben, wenn jene Voraussetzungen richtig sind. [1] Dies ist nun, in Becquerel's Versuchen, merkwürdigerweise in der That der Fall gewesen; nichtsdestoweniger werden wir bald sehen, dafs die drei Hauptbedingungen, welche er seiner Rechnung zu Grunde legt, nämlich geradlinigte Bewegung des Stromes, Proportionalität der Stromstärke und Dicke der Schicht, und umgekehrtes Verhältnifs der Stromstärke und des Abstandes von der Spitze, sämmtlich unhaltbar sind.

Das Verdienst, die Lehre von der Fortpflanzung der elektrischen Ströme dadurch in einen neuen Abschnitt ihrer Geschichte gehoben zu haben, dafs er die Mittel ans Licht zog, den Gang des Stromes in nicht prismatischen Leitern durch die Rechnung zu erforschen, erwarb sich Kirchhoff in Königsberg. [2] Er beschäftigte sich mit dem Durchgange des Stromes durch eine Ebene, in die er durch einen oder mehrere Punkte eintritt, und die er ebenso wieder verläfst. W. Smaasen in Utrecht folgte ihm auf dieses Gebiet, indem er dieselben Ergebnisse von Neuem ableitete, zum Theil auf die dritte Dimension ausdehnte und auch sonst vervollständigte. [3] Kirchhoff verschaffte hier der Ohm'schen Theorie einen Sieg, wie er bisher im Bereiche des Galvanismus noch nicht erfochten war, da es ihm gelang, die Forderungen dieser Lehre durch eine lange Reihe zarter Schlüsse und verwickelter Rechnungen hindurch unter sehr schwierigen Bedingungen mit dem Versuche in Einklang zu bringen; und durch ihn kam ein bis dahin ganz in Vergessenheit gerathener Theil von Ohm's grofsen Leistungen wieder zu seinem Rechte, die theoretische Ableitung nämlich seiner berühmten Grundformel aus den von ihm aufgestellten elektrischen Spannungsprincipien. Aus Kirchhoff's und Smaasen's Abhandlungen entlehne ich nun zunächst die Grundvorstellungen der folgenden Darlegung, wenn man will nichts als eine Art mathematischer Fictionen, welche zur deutlichen Verständigung über die hier vorkommenden Punkte, und zur Handhabe beim Behandeln derselben dienen, und deren allgemeine Kenntnifs uns in der Folge von Nutzen sein dürfte.

Als Ursache des elektrischen Stromes wird der beständige Unterschied der elektroskopischen Kräfte betrachtet, den zwei in Berührung befindliche ungleichartige Stoffe einander gegenüber behaupten. Die

[1] Annales de Chimie et de Physique. Janvier 1845. 3. Série. t. XIII. p. 342.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. April 1845. Bd. LXIV. S. 497; — März 1846. Bd. LXVII. S. 344.

[3] Ebendas., 21. August 1846. Bd. LXIX. S. 161.

elektroskopischen Kräfte streben nach Gleichgewichte; sie ergiefsen sich daher über die benachbarten Leiter und theilen diesen elektrische Spannung mit. Sind die beiden ungleichartigen Stoffe, aufser der erwähnten Berührungsstelle, nicht noch sonst in leitender Verbindung, so wird also ein jeder derselben einfach eine beständige Spannung behaupten, von der nur das abgerechnet werden mufs, was die umgebende Luft seiner Oberfläche an Elektricität entzieht. Wird aber ein leitender Ring zwischen den ungleichartigen Stoffen hergestellt, so verbreiten sich die Spannungen von Molekül zu Molekül durch den ganzen Ring hindurch, wovon die nothwendige und augenblickliche Folge gänzliche Ruhe, vollkommenes Gleichgewicht der Elektricität sein würde, wenn nicht die Bedingung des beständigen Spannungsunterschiedes zwischen beiden ungleichartigen Stoffen wäre, wodurch jeder Verlust ebenso augenblicklich wieder ersetzt wird. Dadurch geschieht aber, dafs, anstatt Gleichgewichtes, vielmehr schliefslich eine constante Elektricitätsbewegung eintritt, und dies ist der Zustand, in dem wir die geschlossene Kette zu untersuchen pflegen, da derselbe »vermöge der nicht fühlbar gehemmten »expansiven Kraft der Elektricität in einem Zeitraume herbeigeführt »wird, dessen Dauer fast immer unseren Sinnen entgeht.« [1] Constant kann natürlich die Elektricitätsbewegung nicht sein, wenn nicht jedes Theilchen in jedem Augenblicke ebensoviel Elektricität auf der einen Seite empfängt, als es auf der anderen abgiebt, eine Bemerkung, welche dazu dienen kann, in Form einer Bedingungsgleichung, die Grundlage zu der Erforschung der Elektricitätsvertheilung in den Körpern unter diesen Umständen abzugeben. Handelt es sich z. B. ganz einfach um die Elektricitätsbewegung nach der einen Ausmessung eines gleichartigen Prisma's, so ist deutlich, dafs jene Bemerkung, analytisch ausgedrückt, auf die Forderung hinausläuft, die Gleichung für die Spannungen nach der Richtung, in der sich die Elektricität bewegt, müsse linear sein, weil dann die Unterschiede der Spannungen nach beiden Richtungen hin überall gleich sind, wovon die Gröfse der positiven und negativen Spannungszuwachse eines gerade betrachteten Punktes, welche sich aufheben sollen, abhängt; oder, es müsse der erste Differentialquotient der Spannung nach der einzigen Richtung der Elektricitätsbewegung gleich einer Constanten, oder endlich, der zweite Differentialquotient gleich Null sein. Findet die Bewegung nach mehreren Ausmessungen statt, so verwickelt sich begreiflich die Sache, und läfst sich nicht mehr für die Anschauung mit wenigen Worten wiedergeben; die letztere Bedingungsgleichung behält jedoch ihre Form bei: sie verlangt stets, dafs

[1] Ohm, die galvanische Kette u. s. w. S. 10.

die Summe der zweiten partiellen Differentialquotienten der Spannung nach so viel Axen, als der Elektricität Bewegungsrichtungen offen stehen, gleich Null sei. Dies ist die Gleichung, welche, von Ohm vorläufig nur für eine,[1] von Kirchhoff zuerst für zwei Ausmessungen abgeleitet, endlich von Smaasen auf drei ausgedehnt und mit dem Namen der Fundamentalgleichung des dynamischen Gleichgewichtes der Elektricität belegt worden ist; so will er den Zustand der constanten Elektricitätsbewegung genannt wissen, dessen Grundbedingung durch dieselbe ausgedrückt wird. Diese Gleichung ist beiläufig die nämliche, welche bereits Fourier für die in einem Körper, einer Ebene, oder einem linearen Leiter beständig gewordene Wärmebewegung aufgestellt hat.[2]

Die Fundamentalgleichung dient, das Gesetz, dem die Vertheilung der Elektricität in dem Körper oder der Ebene unterliegt, im Allgemeinen zu ermitteln. Kennt man dieses Gesetz, welches noch verschiedenen anderen Bedingungen, die von der Natur jedes Falles abhängen, Genüge leisten mufs, so sucht man die gekrümmten Oberflächen, oder, um uns, der Einfachheit des Ausdruckes halber, an die Betrachtung der Ebene zu halten, von der leicht auf den Körper wird geschlossen werden können, man sucht diejenigen Curven auf, in denen gleiche Spannung herrscht. Ich werde dieselben, der Kürze halber, isoëlektrische Curven nennen. Das Interesse, welches sich an die Kenntnifs dieser knüpft, ist klar; denn ein System von Curven, welche dieselben senkrecht schneiden, sind, wie eine einfache Ueberlegung zeigt, die Strömungscurven. Die allgemeine Gestalt der Curven, welche zu einem dieser Systeme gehören, ist die nämliche; die einzelnen Curven eines jeden Systemes sind aber untereinander durch die Veränderung eines allen gemeinsamen Parameters, einer Gröfse, welche in die Gleichung jeder einzelnen Curve als Constante eingeht, unterschieden. Die Strömungscurven zeigen, auf jedem Punkte des Leiters, die Bewegungsrichtung, noch nicht aber die Bewegungsgröfse der Elektricität an. Um diese zu finden, ist es nöthig, den Widerstand des zwischen zweien unendlich nah gelegenen Strömungscurven begriffenen Theiles des Leiters dadurch zu bestimmen, dafs man das Integral der Längenelemente desselben, dividirt durch die wechselnden Querschnitte, zwischen den geeigneten Grenzen nimmt. Die wechselnden Querschnitte sind sichtlich die Bogenelemente aller isoëlektrischen Curven, welche durch

[1] Ebendas. S. 132.*

[2] Théorie analytique de la Chaleur. Paris 1822. 4°. p. 117.* — Poisson, Théorie mathématique de la Chaleur. Paris 1835. 4°. p. 93.*

die beiden unendlich nahe gelegenen Strömungscurven abgeschnitten werden. Der Unterschied der Spannungen an beiden Enden der Strömungscurven, dividirt durch dieses Integral, giebt die Stromstärke in einem beliebigen Querschnitte des betrachteten Bahnelementes. Dies ist die Kraftgröfse, mit welcher das Element auf jedem Punkte seiner Länge nach Aufsen, z. B. auf eine darüber schwingende Magnetnadel wirksam sein wird, wenn die Breite des Elementes gegen die Entfernung der Nadel verschwindet. Den Stromantheil, der mit der erwähnten Stärke ein Element des Leiters durchfliefst, kann man partiellen Strom nennen, das davon eingenommene Element eine partielle Strombahn. Das Integral der partiellen Ströme giebt die Gesammtstromstärke in der Vorrichtung, und mufs gleich sein der Stromstärke in den zunächst unberücksichtigt gelassenen, wie gewöhnlich prismatischen Theilen der Kette. Handelt es sich aber um Wirkungen innerhalb des nicht prismatischen Leiters selbst, also z. B. um Elektrolyse, wenn derselbe durch den Strom zersetzbar ist, so tritt noch eine andere Betrachtung hinzu. Nun ist nämlich die Wirkung innerhalb eines jeden Längenelementes der partiellen Strombahnen nicht mehr eine und dieselbe, sondern es mufs, weil es dabei auf die Dichtigkeit des Stromes ankommt, die beständige Stärke der partiellen Ströme noch durch den Querschnitt der betrachteten Stelle der partiellen Strombahn dividirt werden. Die Curven oder Oberflächen, für welche dieser Quotient eine beständige Gröfse hat, bilden also ein drittes System durch eine wichtige Beziehung verknüpfter Punkte, auf welche ein Augenmerk zu richten ist; es sind Curven, oder in einem Körper, Oberflächen gleicher Dichtigkeit. Das oben erwähnte Nobili'sche Verfahren ist geeignet, einen beliebigen Querschnitt dieses Systemes an den Tag zu fördern.

Der Unterschied der Spannungen, die an den Enden der sämmtlichen partiellen Strombahnen herrschen, ist gleich der elektromotorischen Kraft, unter der Voraussetzung, dafs der Widerstand der übrigen Kettentheile gleich Null ist. Ist derselbe nicht zu vernachlässigen, und es soll nicht allein die vergleichweise, sondern auch die unbedingte Stärke der partiellen Ströme erkannt werden, so mufs, bei bekannter elektromotorischer Kraft, jener Unterschied der Spannungen erst durch die Rechnung gefunden werden. Er ist abhängig, aufser von der elektromotorischen Kraft, von dem Verhältnisse des Widerstandes des nicht prismatischen Leiters, der gespalten gedacht wird, zu der Summe der Widerstände eben desselben und der übrigen ungespaltenen Kettentheile, wie man sich dieses an der gewöhnlichen Ohm'schen Formel für die Stromstärke in einer Nebenschliefsung deutlich machen kann. S. oben S. 273 Anm.

Der Unterschied der Spannungen zweier gleichweit von einander entfernten isoëlektrischen Curven ist um so gröfser, je kürzer diese Curven sind. Faſst man diese nämlich als die senkrechten Querschnitte der Strombahn auf, und erwägt man, daſs in jedem solchen Querschnitte die Gesammtströmung die nämliche Stärke besitzen soll, während diese Stärke von dem Unterschiede der Spannungen einerseits, andererseits der Leitungsgüte der Bahn abhängt, welche, für die Einheit der Länge und des eigenthümlichen Widerstandes, durch die Breite bestimmt wird: so sieht man, daſs, um bei gleichem Abstande der Curven die Beständigkeit des Productes aufrecht zu erhalten, der Unterschied der Spannungen im umgekehrten Verhältnisse der Ausdehnung jener stehen muſs. Genau das umgekehrte Verhältniſs wird es natürlich nur dann sein, wenn die isoëlektrischen Curven einander parallel verlaufen, also z. B. in einem gleichartigen prismatischen Leiter, der aus zwei Theilen von ungleichem Querschnitte zusammengesetzt ist; [1] aber ein ähnliches Verhältniſs wird selbst da stattfinden müssen, wo der Abstand zwischen den verschiedenen Punkten der Curven ein verschiedener ist, sobald man nur solche isoëlektrische Curven betrachtet, deren Abstände, auf einer Strömungscurve gemessen, einander gleich und im Uebrigen einem solchen Gesetze unterthan sind, daſs nicht die geringere Länge des Weges zwischen den kürzeren Curven das an Leitungsgüte ersetzen kann, was durch den geringeren Querschnitt daran verloren geht. Diese Bemerkung wird uns später von Nutzen sein.

Man übersieht wohl leicht, nach dieser Auseinandersetzung, wie groſse Schwierigkeiten sich schon in den meisten Fällen der Ausführung der angegebenen Bestimmungen selbst dann entgegensetzen werden, wenn die isoëlektrischen Curven oder die Strömungscurven bereits bekannt sind. Es wird vermuthlich nur zu oft geschehen, daſs man auf Formen geführt wird, welche der Rechnung Hindernisse in den Weg legen, die zu ihrer Bewältigung entweder die Aufstellung neuer Methoden nothwendig machen würden, oder zur Anwendung der bereits vorhandenen wenigstens die Hülfsleistung bedeutender analytischer Fähigkeiten in Anspruch nehmen.

Indessen wird man diesen Erfolg der Untersuchung noch immer als einen günstigeren anzuerkennen haben im Vergleich zu dem in den zahlreichen Fällen, wo vielmehr die Bestimmung der isoëlektrischen Curven selbst und die daran sich knüpfende der Strömungscurven u. s. w. versagt sein wird. Es folgt nämlich sowohl aus den Versuchen, wie auch bereits aus der einfachsten Anschauung, daſs die Gestalt dieser

[1] Die galvanische Kette u. s. w. S. 19. 20.

Systeme keine ein für allemal gültige, sondern eine durch die Gestalt der Elektroden einerseits, andererseits der leitenden Masse bedingte ist. »Bei den meisten Fragen der mathematischen Physik« — sagt W. Saas-sen — »mufs man noch Rücksicht nehmen auf andere Bedingungen, »wie die, welche ausgedrückt wird durch die Fundamentalgleichung .... »deren allgemeines Integral durch unbestimmte Functionen gegeben wird. »So mufs man, bei der Frage über die Vertheilung der Elektricität in »einer Ebene oder einem Körper, die Grenzen dieser Ebene oder die-»ses Körpers in Rechnung ziehen; man mufs ausdrücken, dafs die »Elektricität sich nicht über diese Grenze hinaus fortpflanzen kann; »man genügt ihr durch die Annahme, dafs die Linien gleicher Span-»nung winkelrecht seien an den Grenzen der Ebene .... Zweitens »wird die Spannung der Elektrode eine gegebene Gröfse sein, und man »wird behaupten können, dafs diese Gröfse im Allgemeinen, wegen der »Kleinheit der Elektrode, für alle Punkte die nämliche Constante sein »werde. Wenn ihre Gröfse nicht mehr wegen der Dimensionen der »Ebene zu vernachlässigen wäre, würde man nicht mehr dieselbe Vor-»aussetzung machen können, und die Aufgabe würde verwickelter wer-»den.« [1] Ist die Elektrode metallisch, der nicht prismatische Leiter, in dem die Zertheilung des Stromes stattfindet, dagegen ein solcher der zweiten Klasse, so wird, nach Ohm, die Elektricität, vermöge des grofsen Leitungsvermögens der Metalle, im Verhältnisse zu der Verzögerung, die sie in den feuchten Leitern erfährt, Zeit genug gewinnen, über die Metalle sich durchaus in gleicher Stärke zu verbreiten. [2] Die isoelektrischen Curven oder Oberflächen schliefsen sich alsdann den Elektroden, welches auch ihre Gestalt sei, an, und die Strömungscurven stehen senkrecht darauf auf, wie umgekehrt diese sich den Grenzen des Leiters anschliefsen, jene senkrecht auf diese aufstehen. Erinnert man sich aber, wie die Untersuchungen über die Fortleitung der Wärme, welche in mehrfacher Beziehung eine so grofse Analogie mit derjenigen der Elektricität darbietet, bis jetzt noch bei den allereinfachsten geometrischen Gestalten haben stehen bleiben müssen, so wird man kaum zu hoffen wagen, dafs es hier gelingen werde, sich merklich über denselben Punkt hinaus zu erheben.

Die bisher angestellten Forschungen halten sich denn auch, wie aus dem Obigen erhellt, zunächst noch völlig innerhalb dieser Grenze. Es ist nur der einzige Fall des Durchganges der Elektricität durch eine unbegrenzte oder eine kreisförmige Ebene erschöpfend behandelt, unter

[1] A. a. O. S. 165. 166.

[2] Die galvanische Kette u. s. w. S. 129.

der Voraussetzung, dafs die Elektricität durch punktförmige oder kreisrunde Elektroden von verschwindendem Halbmesser, übrigens beliebiger Anzahl und Stellung, in sie eintritt und sie ebenso wieder verläfst, oder auch, was praktisch von keinem Interesse ist, dafs sie durch eine Elektrode von beliebigem Halbmesser und constanter Spannung aller ihrer Punkte eintritt, und dafs das dynamische Gleichgewicht zwischen dieser Elektricitätsquelle einerseits und der Elektricität entziehenden Luft andererseits sich herstellt. Sind der Elektroden zwei in einer unbegrenzten Ebene, welche gleiche Elektricitätsmengen von entgegengesetzten Zeichen spenden, so sind die isoëlektrischen Curven nach KIRCHHOFF Kreise, welche über der Entfernung zweier Punkte als Durchmesser beschrieben sind, die zu den Elektrodenpunkten harmonisch liegen. Die Curven, welche diese senkrecht schneiden, sind die Kreise, welche durch die Elektrodenpunkte gelegt werden können. Die Curven, welche alle Punkte enthalten, die von gleich starken Strömen durchflossen werden, sind in diesem Falle Lemniscaten. Ist die Ebene, statt unbegrenzt, eine kreisförmige Scheibe, und die Elektrodenpunkte liegen in ihrem Umfange, so fährt alles Gesagte zu gelten fort, denn durch die Natur der Anordnung selbst ist alsdann der neuhinzukommenden Gleichung der Grenzcurve bereits Genüge gethan, auf der die isoëlektrischen Curven senkrecht aufstehen, und an die sich die Strömungscurven anschliefsen sollen. Dies sind zugleich die Ergebnisse der Rechnung, die KIRCHHOFF durch seine schönen Versuche bewährt gefunden hat.

Ein Fall der Elektricitätsbewegung nach den drei Ausmessungen ist noch nicht behandelt. Was die vorhin erwähnte, von BECQUEREL untersuchte Anordnung betrifft, so läfst sich nur so viel ersehen, dafs die isoëlektrischen Oberflächen, welche zwischen der Ausströmungsspitze und der Platte concav gegen die erstere liegen, wenigstens keine Kugelschalen sein können, dafs folglich die Strömungslinien nicht mit den von der Spitze nach der Platte gezogenen Leitstrahlen zusammenfallen werden. Denn jene Oberflächen müssen sich der Platte anschliefsen, welche, vermöge des verhältnifsmäfsig unendlich geringen Widerstandes der Metalle, überall eine und dieselbe Spannung behauptet, und daher selbst die erste isoëlektrische Oberfläche von dieser Seite her ist; wären aber dieselben Kugelschalen, so müfste in der die Platte berührenden unter denselben gleichfalls überall die nämliche Spannung herrschen wie auf der Platte, und dann würde es keinen Grund mehr zur Strömung zwischen den Punkten dieser Kugelschale und denen der Platte geben.

Man kann übrigens annehmen, dafs, wenn die Flüssigkeitsschicht sehr dünn im Verhältnisse zu ihrer Ausdehnung ist, die Strömungslinien, die zu den entfernteren Punkten derselben führen, mit ziemlicher

Genauigkeit durch gerade Leitstrahlen von der Spitze zu jenen Punkten werden ersetzt werden können. Keinesweges aber wird alsdann, wie Becquerel glaubt, die Stromstärke umgekehrt proportional der Länge eines solchen Leitstrahles sein. Becquerel hat, bei Aufstellung seiner Formel, übersehen, dafs die Strömungslinien zwar die Richtung der partiellen Ströme anzuzeigen geeignet sind, dafs jedoch nicht sie, sondern die zwischen denselben begriffenen Räume, den Widerstand bestimmen, den jene Ströme zu überwältigen haben. Unter der Voraussetzung geradlinigter Bewegung der Elektricität also wird als partielle Strombahn hier der Raum zwischen zweien Kegelmänteln zu betrachten sein, deren Axe und Spitze miteinander sowohl als mit der Ausströmungsspitze und ihrer senkrechten Entfernung von der Platte zusammenfallen, welche letztere die gemeinsame Grundfläche der Kegel ausmacht, und deren sehr stumpfe Winkel an der Spitze um einen unendlich kleinen Winkel unterschieden sind. Der Widerstand eines solchen Raumes ist leicht zu bestimmen. Im Zähler des Ausdruckes für das Element desselben steht das Differential der Länge der Seite der Kegelmäntel, im Nenner als Querschnitt, neben dem Leitungsvermögen der Auflösung, das Stück eines senkrecht auf beide Kegelmäntel in dem eben betrachteten Punkte construirten dritten Kegelmantels, welches durch jene in Gestalt eines Ringes abgeschnitten wird. Integrirt mufs werden zwischen einer oberen Grenze gleich der gesammten Länge des Leitstrahles, mit dem die Kegelmäntel beschrieben sind, und einer unteren, welche den, übrigens beliebig kleinen, jedoch endlichen Halbmesser der halbkugelförmig in die Flüssigkeitsschicht eintauchenden Ausströmungsspitze vorstellt. Die Vernachlässigung dieser Constanten würde den Widerstand unendlich machen. Die elektromotorische Kraft, dividirt durch das bestimmte Integral, ist die partielle Stromstärke. Mit dieser Formel sind jedoch noch verschiedene Umwandlungen vorzunehmen, um die Stromstärke, worauf es ankommt, in Function des Abstandes der Spitze von der Platte, des betrachteten Punktes der Platte von der Projection der Spitze auf die Platte, und des Differentiales dieses letzteren ausgedrückt zu erhalten. Multiplicirt man ihn dann mit einer ferneren Constanten, für das Atomgewicht des niedergeschlagenen Zersetzungsstoffes, seine Dichtigkeit u. s. w., und es ist der Widerstand der übrigen Kettentheile zu vernachlässigen, so wird man allerdings ein Mafs für die absolute Menge des Zersetzungsstoffes gewonnen haben, welche in der Zeiteinheit durch den partiellen Strom auf dem Ringe der Platte, auf dem die Kegelmäntel aufstehen, niedergeschlagen wird, keinesweges jedoch bereits für die relative Dicke der Schicht, in welcher diese Menge sich ablagern wird. Um diese zu bestimmen, ist es deutlich, dafs man noch die Aus-

dehnung der Oberfläche zu berücksichtigen hat, auf der die Ablagerung vor sich gehen soll. Man findet diese einfach, indem man den Ausdruck für die Grundfläche der Kegel als Function des Halbmessers differenzirt, und das Gesetz der abnehmenden Dicke der Ringe folglich, wenn man in den Ausdruck für die Menge des Zersetzungsstoffes mit diesem Differentiale dividirt. Das Ergebnifs dieser Betrachtung ist demnach, dafs weder der Strom sich kegelförmig ausbreitet, noch dafs, wenn man seine Krümmungen vernachlässigen will, seine Stärke auf den einzelnen Punkten der Platte der Länge des Leitstrahles umgekehrt proportional ist, noch endlich dafs die Dicke der Ringe in geradem Verhältnisse mit der partiellen Stromstärke steht (S. oben S. 569). Führt man die eben im Umrisse vorgeführten Bestimmungen aus, und vernachlässigt man, nach Becquerel's Vorgange, den Abstand der Spitze von der Platte gegen den Halbmesser der Ringe, ferner auch den Krümmungshalbmesser der Ausströmungsspitze gegen die Länge des Leitstrahles, so findet man, dafs die Dicke der Ringe nicht, wie Becquerel meint, der ersten Potenz der Halbmesser, sondern, was auch zum Theil bereits die Anschauung zeigt, dem Würfel derselben umgekehrt proportional sein mufs.

Wie Becquerel's Beobachtungen sich dennoch mit beträchtlicher Genauigkeit der ersten Potenz anschliefsen können, weifs ich nicht zu sagen. In der Sitzung der physikalischen Gesellschaft vom 11. December 1846, wo ich diese Bemerkungen mittheilte, legte Hr. Dr. Beetz gleichzeitig mehrere nach Becquerel's Angaben gefertigte Platten mit Nobili'schen Ringen vor, an denen die Dicken der Ringe, meiner annähernden Rechnung gemäfs, sehr getreu das umgekehrte Gesetz der Würfel der Halbmesser befolgen. [1]

## 2. Vom Strömungsvorgange an dem schematisirten Muskelprimitivbündel.

Ich habe es nicht gescheut, an dieser Stelle den Gang der Untersuchung durch eine leichte Schilderung des Zustandes zu unterbrechen, in dem sich gegenwärtig die Lehre von der Fortpflanzung galvanischer Ströme in nicht prismatischen Leitern befindet, weil einestheils von hier ab bis an den Schlufs dieses Werkes, wie man sehr bald erkennen wird, alles deutlichere Verständnifs der thierisch-elektrischen Erschei-

[1] Vergl. die Fortschritte der Physik im Jahre 1845. Dargestellt von der physikalischen Gesellschaft zu Berlin. 1. Jahrgang. Redigirt von Dr. G. Karsten. 2. Abschn. Artikel Galvanismus.

nungen auf das genaueste an diese Lehre geknüpft erscheint, welche ja auch zuerst (S. oben S. 563) einer Forderung der Theorie der Zitterfische ihren Ursprung verdankt; und weil ich anderntheils, bei der Jugendlichkeit dieses Zweiges der elektrischen Wissenschaft, gerade mit ihm am wenigsten eine Bewanderung bei dem physiologischen Leser voraussetzen durfte. Es mufste mir daran gelegen sein, denselben einen Blick in die Schwierigkeiten dieses Gegenstandes thun zu lassen, um ihn desto mehr geneigt zu machen, mich selber zu entschuldigen, wenn ich die mannigfachen Aufgaben der Art nicht zu lösen vermocht habe, die sich uns nunmehr in ununterbrochener Reihefolge und in steigender Verwickelung darbieten werden.

Kehren wir zu derjenigen derselben zurück, die uns zuerst zur Kenntnifsnahme des eben Auseinandergesetzten gedrängt hat. Wir hatten den Fall des kupfernen, am Mantel verzinkten, überall mit einer gleich dicken Schicht eines feuchten Leiters überzogenen Cylinders, an dem wir den Strömungsvorgang zu ermitteln wünschten, bereits von jedem Nebenwerk entkleidet und auf die allereinfachsten Bedingungen zurückgeführt. Das Schema, bei dem wir schliefslich stehen geblieben waren, bestand, wie man sich erinnert (S. oben ebendas.), aus zweien in einer Flucht ausgebreiteten Erregerplatten, welche in einer geraden Linie, senkrecht auf ihre Längenausmessung, aneinandergelöthet und mit einer Schicht eines feuchten Leiters übergossen gedacht wurden. Dieses Schema bot dieselbe wesentliche Schwierigkeit dar, die wir an jenem Cylinder erkannt hatten; dafs nämlich der Abstand der Elektroden darin von Null bis zu einer gewissen endlichen Grenze wechsele, und dafs der Elektricität, aufser einem unendlich schmalen geradlinigten Pfade den Erregerplatten entlang, unendlich viele krummlinigte Bahnen von erst zu bestimmender Beschaffenheit offen stehen. Die nur nach zwei Richtungen stattfindende Elektricitätsbewegung in diesem Schema könnte, unter der Voraussetzung, dafs die Elektroden metallisch seien und also auf allen ihren Punkten gleiche Spannung behaupten, mit Hülfe der auseinandergesetzten Principien, wohl bereits der Rechnung unterworfen werden. Allerdings bedürfte es dazu einer sehr überlegenen Analyse, da namentlich die Grenzcurve der Flüssigkeit, welche eine gebrochene Linie ist, einige Schwierigkeiten verursachen dürfte; das Uebelste jedoch ist, dafs, wenn nun die mathematische Zergliederung des Strömungsvorganges in jener Vorrichtung auf das erschöpfendste vorläge, uns damit im Grunde noch gar nicht geholfen sein würde; es würde erst der allerkleinste Theil von dem geleistet sein, was wir hier geleistet zu sehen nicht entbehren könnten, und ohne dafs uns dieser erste Schritt für das Nachfolgende von merklichem Nutzen sein dürfte.

Schon der nächste Schritt jedoch, der alsdann zu machen wäre, und uns erst wahrhaft ersprieſslich werden würde, ist so ungemein verwickelter Art, daſs man nicht abzusehen vermag, wie es jemals gelingen werde, denselben zurückzulegen. Wir werden daher, im Verfolg dieser Untersuchung, auf die Hülfsmittel der Rechnung Verzicht leisten müssen; es bleibt uns nichts übrig, als uns zuerst mit der gemeinen Anschauung so weit zu behelfen als es geht, wenn diese nicht mehr ausreicht, dem Verständnisse im Einzelnen und Feineren ganz zu entsagen, und nur noch allein durch den Versuch unseren Weg fortzusetzen. Dies wird gar bald der Fall sein, was um so mehr zu beklagen ist, als, wie sich zeigen wird, die Erfahrung selbst hier nur einen äuſserst geringen Grad von Genauigkeit zu gewähren im Stande ist, indem die Erscheinungen der Polarisation sich mit groſser Gewalt in die Beobachtungen einmischen und die unerhörtesten Störungen der theoretisch zu gewärtigenden Ergebnisse hervorbringen. Um nun, mittelst der bloſsen Anschauung, und auch mit Hülfe des Versuches, in das vor uns liegende Labyrinth einzudringen, wird es uns allerdings von Nutzen sein, den bereits vorgezeichneten Weg vom Allereinfachsten zum Verwickelteren bis zum Verwickeltesten einzuschlagen, was, bei der Rechnung, in diesem Falle ein ziemlich überflüssiger Aufenthalt gewesen sein würde; und wir beginnen daher jetzt mit der Betrachtung des mehrerwähnten, nicht weiter zerlegbaren Schema's.

Was, allem Obigen zufolge, über den hier stattfindenden Strömungsvorgang ganz unzweifelhaft der Augenschein lehrt, habe ich, so gut es ging, in Fig. 53. Taf. V anzudeuten versucht. Da wir die Erregerplatten vorläufig als metallisch ansehen, so besitzen alle Punkte der einen und der anderen gleichen Unterschied der Spannung. Eine jede derselben bildet also, um uns, der Einfachheit halber, nur an die Betrachtung eines Längendurchschnittes der Vorrichtung zu halten, wie die Figur ihn zeigt, eine erste isoëlektrische Curve, an die sich die übrigen Curven gleicher Spannung anschlieſsen müssen, welche senkrecht auf die Grenze des feuchten Leiters aufstehen. Es sind, in der Zeichnung, die punktirten Curven. Die ausgezogenen Strömungscurven hingegen, als ein auf jene senkrechtes System, schlieſsen sich der Grenze an und stehen senkrecht auf die Erregerplatten auf. Sind beide Platten gleich lang, so ist deutlich, daſs Alles sich symmetrisch verhalten muſs; eine und dieselbe Strömungscurve wird von einem Punkte des Zinkes ausgehen und bei einem Punkte des Kupfers einkehren, die gleich weit von der Zinkkupfergrenze liegen. In diesem Falle wird die Senkrechte auf die Zinkkupfergrenze gleichfalls eine isoëlektrische Linie sein. Wie diese Dinge sich verhalten werden, wenn man, der Allgemeinheit hal-

ber, ungleiche Länge der Erregerplatten voraussetzt, ist, mit Hülfe der Anschauung allein, durchaus nicht mehr zu sagen: man kann höchstens die Vermuthung aussprechen, dafs nun eine und dieselbe Strömungscurve zu Fufspunkten solche Punkte beider Platten haben mag, deren Abstände von der Zinkkupfergrenze zu einander sind wie die Längen der Platten selbst.

Es ist klar, dafs die partiellen Ströme um so schwächer ausfallen werden, je weiter die Fufspunkte ihrer Bahnen von der Zinkkupfergrenze abstehen. Der stärkste partielle Strom herrscht daher begreiflich zwischen den einander nächsten Rändern beider Platten. Hier mufs vorzugsweise der Wasserstoff am Kupfer entwickelt und das Zink angegriffen werden. Man kann sich die Projection dieser Grenze in unserer Figur als den Ursprung, die der Erregerplatten als die Abscissenaxe eines Coordinatensystemes, und auf jedem Punkte der letzteren die Stärke des daselbst aus- oder einmündenden partiellen Stromes, in Function des Abstandes von der Zinkkupfergrenze ausgedrückt, als Ordinate aufgetragen denken. Die so erhaltene Curve bleibt uns unbekannt, weil wir die isoëlektrischen Curven selbst nicht kennen. Ein senkrecht auf die Ebene der Zinkplatte gefällter Querschnitt der Flüssigkeitsschicht wird von sämmtlichen partiellen Strömen durchflossen, die von dem Ursprunge aus gerechnet, jenseits desselben auf dem Zink entwickelt worden sind. Von derselben Summe von Strömen wird der Querschnitt der Flüssigkeitsschicht über demjenigen Punkte der Kupferplatte durchsetzt, in welchen sich der partielle Strom, der auf jenem entwickelt wurde, wieder verliert. Kennten wir die Curve, welche die wachsende Gröfse der partiellen Stromstärken darstellt, so wäre die Quadratur ihres Flächenraumes von einer beliebigen unteren Grenze $x'$ bis zu einer oberen Grenze $\varepsilon$, welche alsdann die Länge des Zinkes vorstellte, das Mittel, die Stärke der Gesammtströmung durch den bei $x'$ gefällten Querschnitt zu finden; die Gleichung dieses Flächenraumes aber als Function der Abscisse würde die Gleichung der Curve sein, in welcher die Stärke des Gesammtströmungsvorganges durch die Querschnitte der Flüssigkeitsschicht von einer beständigen oberen Grenze $\varepsilon$ bis zum Ursprunge hin wächst. Sind die Erregerplatten gleich lang, so werden die Curven der partiellen Stromstärken und des Gesammtströmungsvorganges über dem Zinke und über dem Kupfer völlig symmetrisch sein; sind sie von ungleicher Länge, so findet begreiflich Assymmetrie statt. Wie nun diese Curven auch im Uebrigen beschaffen sein mögen, einige wesentliche Eigenschaften derselben lassen sich wohl auch ohne die Gewähr der Rechnung sicher ermessen. Was die Curve der partiellen Stromstärken betrifft, so ist es klar, dafs sie an dem

freien Ende des Zinkes, welches mit [$\varepsilon$] bezeichnet sein mag, mit einer Ordinate von endlicher Höhe beginnt, und dafs sie gegen die Ordinatenaxe assymptotisch aufgerichtet sein mufs. Da sich aber auf dem Wege von [$\varepsilon$] bis zum Nullpunkte die Dinge völlig stetig und in gleicher Weise ändern, so folgt, dafs dieselbe hier schwerlich einen Wendepunkt besitzen, sondern unstreitig eine starke Convexität gegen die Abscissenaxe kehren wird. Die Curve des Gesammtströmungsvorganges hingegen wird bei [$\varepsilon$] sichtlich die Abscissenaxe schneiden müssen, aber hernach gleichfalls gegen dieselbe convex und gegen die Ordinatenaxe assymptotisch aufgerichtet sein müssen. Was dies scheinbare Unendlichwerden des Strömungsvorganges auf dem Nullpunkte anlangt, so ist zu erinnern, dafs es in Wirklichkeit ebensowenig stattfinden wird, als die gewöhnliche Ohm'sche Formel sich verwirklicht finden kann, wenn man den Nenner derselben gleich Null setzt; es ist deutlich, dafs man in Gedanken die Bedingung festzuhalten hat, dieser Nenner, oder die Abscisse in unserem Falle, könne nie gleich Null werden, nie unter den Werth einer sehr kleinen Constanten sinken, welche den Widerstand oder einen Theil des Widerstandes ausdrückt, den ein aus drei kleinsten einander berührenden Theilen der drei ungleichartigen Stoffe dem Strome darbietet.

In Fig. 54 habe ich, was eine für den Zweck hinlängliche Genauigkeit gewährt, zur Versinnlichung der auseinandergesetzten Verhältnisse, ein dem erörterten ähnliches System von Curven dargestellt. Als Curve der partiellen Stromstärken ist ganz einfach eine auf ihre Assymptoten bezogene gleichseitige Hyperbel $y\alpha[\varepsilon]$ gewählt. Die Curve der Gesammtstromstärken ist durch die der natürlichen Logarithmen ersetzt ($y\alpha'[\varepsilon]$).

Lassen wir es, nothgedrungen, bei diesen Bestimmungen des Strömungsvorganges an unserem einfachsten Schema bewenden, welches wir mit dem Namen eines »flachen Erregerpaares« bezeichnen wollen, und suchen wir nunmehr, uns einen Rückweg zu den ungleich verwickelteren Anordnungen zu bahnen, um deren Kenntnifs es uns eigentlich zu thun ist. Wir nähern uns also zunächst wieder dem Bilde unserer viereckten, an ihren inneren Wänden mit Erregerplatten in bewufster Weise bekleideten Rinne (S. oben S. 562), von der wir, bis hieher, erst zwei Seiten in Wirksamkeit dachten. Bei dem äufserst geringen Grade von Genauigkeit, bei dem wir in unseren Betrachtungen stehen zu bleiben doch einmal gezwungen sind, verschlägt es uns begreiflich wenig, dafs, um das Gesagte unmittelbar auf die Rinne selbst übertragen zu können, die beiden Erregerplatten, und mit ihnen die Flüssigkeitsschicht, noch an der Zinkkupfergrenze in einen ausspringenden rechten Winkel gebogen werden müssen. Den dadurch entstehenden Fehler können wir

übrigens durch Einführung der Bedingung nach Belieben verkleinern, dafs die Dicke der Flüssigkeitsschicht gegen die Ausdehnung der Erregerplatte nur eine geringe sei; es ist deutlich, dafs, bei verschwindender Dicke dieser Schicht, jener Fehler selbst verschwindend ausfallen würde. Jetzt öffnen wir also ferner eine dritte Seite der Rinne; es sei diejenige, deren Wand mit Kupfer bekleidet ist; oder vielmehr, wir fügen den beiden in einer Flucht ausgestreckten Erregerplatten dem entsprechend noch eine Kupferplatte hinzu, welche an das andere bisher freie Ende der Zinkplatte auf die nämliche Weise hinangelegt wird, wie schon die beiden erstbetrachteten sich berühren. Heifse die erste Kupferplatte $K_{\mathrm{I}}$, die erste Zinkplatte $Z_{\mathrm{I}}$, die zweite, eben hinzugekommene Kupferplatte $K_{\mathrm{II}}$; die Platten stofsen aneinander in der Ordnung, wie sie hier genannt sind, und die Flüssigkeitsschicht ist nunmehr als über alle drei fort sich erstreckend zu denken (S. Fig. 55). Es fragt sich, was die Folge dieser Abänderung sein werde.

Dazu gelangen wir leicht mit Hülfe nachstehender Betrachtung. Man denke sich, senkrecht auf die Mittellinie des Zinkes, in unserer Figur auf den Punkt $m$, eine unendlich dünne isolirende Wand durch die Flüssigkeitsschicht bis zur Berührung mit dem Zinke versenkt. Wie man sieht, sie trennt die Vorrichtung in zwei ganz symmetrische Hälften, und jede dieser Hälften ist ein flaches Erregerpaar. Oder man kann sich auch denken, dafs man zwei dergleichen Vorrichtungen genommen und sie mit dem Vorbehalt zu einer zusammengefügt habe, dafs Zink an Zink stofse, zwischen beiden aber eine unendlich dünne isolirende Wand zurückbleibe. Gleichviel wie man sich die neue Anordnung entstanden denke; es ist deutlich, dafs sie auf den Strömungsvorgang in jeder der symmetrischen Hälften ganz ohne Einfluſs sein wird; dieser wird fortbestehen, wie er sich in Fig. 54 bereits von uns, so gut wir konnten, angedeutet findet. Aber man wird bald gewahr, dafs auch das Entfernen jener unendlich dünnen isolirenden Wand zwischen den beiden entsprechenden Hälften den Vorgang in beiden völlig ungestört lassen werde. Denn es trifft dabei jede auf diese Wand senkrecht aufstehende isoëlektrische Curve von einer gewissen Spannung, vermöge der vorausgesetzten Symmetrie der beiden Hälften der Vorrichtung, auf eine isoëlektrische Curve von ganz gleicher Spannung. Die Elektricität wird also nicht den geringsten Grund haben, die Grenzen, in denen sie sich vormals bewegte, nach Entfernung der isolirenden Wand zu überschreiten. Somit ist also unsere Aufgabe gelöst, da es in die Augen fällt, dafs nun die Vorrichtung eine und dieselbe mit derjenigen geworden ist, an welcher der Strömungsvorgang erkannt werden sollte, und da es keines Beweises bedarf, dafs, an einer

und derselben Vorrichtung, die Vertheilung der Elektricität auch nur immer eine und dieselbe sein kann. Die Fig. 55 zeigt demgemäfs die isoëlektrischen und die Strömungscurven an der Reihe der Erregerplatten $K_I Z_I K_{II}$; die ersteren sind nur punctirt, die letzteren ausgezogen. Handelt es sich darum, die Curve der Gesammtstromstärken für diese Anordnung, wie früher für die einfachere in Fig. 54, zu entwerfen, so braucht man, wie man sieht, nur diese sich zweimal in übereinstimmender Weise wiederholen zu lassen (Fig. 56). Die Gesammtstromstärke ist gleich Null auf der Mittellinie des Zinkes und an den beiden freien Enden des Kupfers; die Curven, welche die wachsende Gröfse derselben nach der Zinkkupfergrenze darstellen, sind gegen die Abscissenaxe convex, und schliefsen sich den Ordinaten auf der Projection jener Grenzen bis zu einer gewissen endlichen Höhe asymptotisch an. Die Strömungsrichtung zu beiden Seiten der Mittellinie des Zinkes, über die beiden Zinkkupfergrenzen fort, ist begreiflich die entgegengesetzte.

Wir können, nach diesen Vorbereitungen, jetzt einen rascheren Fortschritt nehmen. Es ist deutlich, dafs Alles von der letzten Anordnung Gesagte bestehen bleibt, auch wenn in jedem der beiden flachen Erregerpaare, die man sich zu derselben zusammengefügt denkt, die beiden Erregerplatten ungleiche Länge haben; wofern nur in beiden Paaren Zink und Zink, und Kupfer und Kupfer, beziehlich einander an Ausdehnung gleich sind. Ebenso ist klar, dafs man zwei flache Erregerpaare, mit dem nämlichen Erfolge der Ungestörtheit des Strömungsvorganges in jedem einzelnen, auch so wird zusammenfügen können, dafs nicht Zink an Zink, sondern Kupfer an Kupfer, zu liegen kommt. Stets werden die isoëlektrischen Curven der einen Hälfte der Anordnung die genaue Fortsetzung derjenigen der anderen bilden; nie also wird die Elektricität Grund finden, ihr gewohntes Bette zu verlassen. Dies vorausgesetzt, ist es drittens klar, dafs wir den Fall der länglich viereckten, mit einem feuchten Leiter erfüllten, an ihren vier Seiten mit abwechselnd ungleichartigen Erregerplatten bekleideten Rinne, auf dessen Verständnifs es uns zunächst ankommt, als entstanden betrachten dürfen aus der Zusammenfügung von vier flachen Erregerpaaren (S. Fig. 57), die an den vier Zinkkupfergrenzen in ausspringende rechte Winkel gebogen sind, in der Mitte der vier Seiten der Rinne aber mit gleichnamigen Metallen zusammenstofsen, welche hier, wie auch die Flüssigkeitsschichten, verschmolzen sind. Denkt man sich die Dicke dieser letzteren gering im Verhältnisse zu der Ausdehnung der Erregerplatten, so wird, wie bemerkt, die Abweichung von unseren früheren Annahmen gleichzeitig vermindert, die aus dem Biegen der Erregerpaare

in den Zinkkupfergrenzen entspringt. Der Strömungsvorgang über jedem einzelnen der Erregerpaare bleibt also beinahe unverändert. Wir sind daher in Stand gesetzt, die Curve der Gesammtstromstärken für die Rinne, wie früher für die flachen Erregerpaare selbst, und die einfacheren Zusammenstellungen derselben, zu entwerfen. Dies ist Fig. 57 in der Weise geschehen, dafs die Seiten des länglichen Viereckes als Abscissenaxen, die die rechten Winkel desselben halbirenden Geraden als Ordinatenaxen gewählt sind, um die Curven aus der vorigen Figur darauf beziehen zu können; es sind die ausgezogenen. Man sieht, dafs der Vorgang auf den Mittelpunkten der langen (Zink-) Seiten, die in der Figur durch eine punctirte Linie verbunden sind, gleich Null ist; dafs er sich, von denselben aus, nach den beiden kurzen (Kupfer-) Seiten hin mit entgegengesetzter Richtung begiebt, wie die Pfeile andeuten; dafs seine Gröfse in gleichen Abständen von jenem Mittelpunkte eine und dieselbe ist; dafs sie über der Zinkkupfergrenze ihren höchsten Werth erreicht, wo die Curve sich bis zu einer gewissen endlichen Höhe asymptotisch an die daselbst errichtete Ordinate anschliefst; dafs der Vorgang über dem Mittelpunkte des Kupfers wieder auf Null herabgesunken ist, in gleichen Abständen von diesem Punkte aber auch wieder gleiche Gröfse behauptet.

Es bleibt uns jetzt nur noch übrig, von dem Schema der Rinne zu dem des durch und durch kupfernen, am Mantel verzinkten, überall mit einer gleich dicken Schicht eines feuchten Leiters bekleideten Cylinders überzugehen. Hiezu ist nichts weiter nöthig, als die Veränderungen zu berücksichtigen, welche der Strömungsvorgang in der Rinne erleidet, wenn wir mit dieser eine solche Umwandlung vornehmen, dafs sie zu einem Elemente des Cylinders wird. Ein solches wird gefunden, indem man zwei Ebenen unter einem sehr kleinen Winkel durch die Axe legt; der dadurch aus den Grundflächen, welche den kurzen Seiten unserer Rinne entsprechen sollen, herausgeschnittene Theil hat die Gestalt zweier gleichschenkeliger, sehr spitzwinkeliger Dreiecke, welche so mit ihren Gipfeln aneinandergefügt sind, dafs ihre Schenkel zu zweien gerade Linien bilden. Wir haben also blos zu erwägen, was aus dem Strömungsvorgange an unserer Rinne werde, wenn wir erstens die Breite der Erregerplatten sehr vermindern, und wenn wir fürs zweite die kurzen Seiten der Rinne auf die eben beschriebene Weise umwandeln: so kennen wir den Vorgang in einer Ebene unserer cylindrischen Vorrichtung in seinen allgemeinsten Zügen, und, da wir es mit einem Rotationskörper zu thun haben, auch den Vorgang am ganzen Cylinder.

Was die Verschmälerung der Erregerplatten ins Unbestimmte betrifft, so ist es klar, dafs sie von keinem Belange ist; sie läfst die

Form des Strömungsvorganges unverändert, indem sie sich nur an seine Stärke wendet; ihr Einfluſs ist aber nichtig, weil, beim Uebergehen von dem Cylinderelemente zum Cylinder, die Stromstärke wieder eine endliche Gröſse erlangt. Anlangend die Umgestaltung der kurzen Seite der unendlich schmalen Rinne zu einem Elemente eines Kreises anstatt eines Rechteckes, so kann dieselbe begreiflich nicht umhin, einen sehr bedeutenden Einfluſs auf die Form der Curve der Gesammtstromstärken zu äufsern. Indessen wird dieser Einfluſs doch nur der Art sein, daſs die Eigenschaften derselben, die wir zu erkennen vermocht haben, und auf welche es uns daher allein ankommen kann, dadurch unbeeinträchtigt bleiben werden. So weit jener Einfluſs sich, mit Hülfe der bloſsen Anschauung, ermessen läſst, scheint es, als müsse er allmäligeres Aufsteigen der Curve von dem Mittelpunkte des Kupfers aus nach der Zinkkupfergrenze hin zur Folge haben. Es kann demnach die Beschreibung des Strömungsvorganges in der Rinne, wie sie oben gegeben wurde, ohne Weiteres auf den Cylinder übertragen werden. Für Mitte der Kupferseite muſs es jetzt heiſsen Mittelpunkt der kupfernen Grundfläche; für Mitte des Zinkes, Aequator des Cylinders, dessen Projection die punctirte Linie ist, welche in Fig. 57 die Mittelpunkte der beiden Zinkseiten verbindet. Diese Figur kann jetzt als die Durchschnittsansicht des Cylinders, statt als Projection der in der Rinne wieder in sich zurücklaufenden Reihe flacher Erregerpaare betrachtet werden, und die ausgezogenen Curven daran werden auch jetzt noch, für unseren Zweck mit hinlänglicher Genauigkeit, das Gesetz des Strömungsvorganges in den verschiedenen Punkten der Hülle feuchten Leiters, welche den Cylinder umkleidet, anzeigen.

### 3. Vom Strömungsvorgange in dem an das schematisirte Muskelprimitivbündel angelegten unwirksamen leitenden Bogen.

Hiemit ist erst der erste, genau genommen nur vorbereitende Schritt dieser Untersuchung zurückgelegt. Sie hatte, wie man sich erinnert (S. oben S. 561), zum Zweck, eine Anordnung ungleichartiger Gebilde zu ersinnen, deren elektromotorische Wirkungen nicht nur denen durch das Gesetz des Muskelstromes bezeichneten möglichst genau entsprechen, sondern welche zugleich die Bedingung erfüllt, daſs sie, querdurchschnitten, auf den dadurch zu Tage geförderten neuen Flächenbegrenzungen stets wieder die negativen Eigenschaften wie vorher entfalte. Wir wollten den Versuch machen, ob eine cylindrische Vorrichtung von der oft beschriebenen Art diesen Forderungen Genüge leiste, und suchten daher zunächst die Beschaffenheit des Strömungs-

vorganges an einer solchen zu erkennen. Hiezu waren wir genöthigt, vor Allem uns über die Gesetze zu unterrichten, denen der elektrische Strom, bei seiner Vertheilung in nicht prismatischen Leitern, gehorcht, wobei wir noch eine andere, Eingangs der vorigen Nummer angedeutete Nebenabsicht im Sinne hatten. Endlich haben wir nun wirklich die Bestimmung des Strömungsvorganges an der cylindrischen Vorrichtung innerhalb gewisser Grenzen der Genauigkeit ausgeführt. Jetzt handelt es sich darum, ihn mit dem am einfachen Bündel in Vergleich zu bringen.

Es findet nämlich der Uebelstand statt, dafs, während wir am Cylinder diesen Vorgang selbst annäherungsweise kennen, wir am natürlichen Elektromotor nur das Gesetz der durch Anlegen eines unwirksamen leitenden Bogens davon erhaltenen Ströme in Händen haben. Es stehen uns daher jetzt noch zwei gleich schwierig zu betretende Wege offen: entweder wir suchen aus dem Gesetze des Muskelstromes den Vorgang in der Hülle des Muskelbündels zu erschliefsen und vergleichen ihn dann unmittelbar mit dem bis jetzt erst a priori erkannten unseres Schema's, oder wir suchen am letzteren auch noch die Erscheinungen zu ermitteln, die sich beim Anlegen eines Bogens an verschiedene Punkte des Cylinders, wie dies beim Muskel geschah, kundgeben müssen, und stellen den Vergleich zwischen diesen und den ähnlich am Muskel selbst gewonnenen Ergebnissen an. Stimmen dieselben überein, so werden wir auf eine ähnliche Anordnung der ungleichartigen Gebilde im Cylinder und im Muskelbündel mit der Sicherheit schliefsen dürfen, welche die beiden alsdann zu untersuchenden Möglichkeiten zulassen, dafs erstens verschiedene Anordnungen solcher Gebilde eine und dieselbe allgemeine Form des Strömungsvorganges bedingen könnten, und dafs zweitens gar verschiedene Formen des ursprünglichen Strömungsvorganges bei Abwesenheit des Bogens innerhalb gewisser Grenzen eine und dieselbe Erscheinungsweise der abgeleiteten Ströme in dem angelegten Bogen zur Folge zu haben vermöchten. Aufserdem mufs jede Anordnung, für die wir uns, als möglicherweise in Wirklichkeit stattfindend, entscheiden sollen, natürlich auch noch der oben gestellten Forderung in Betreff der Beschaffenheit eines beliebigen Querschnittes Genüge leisten.

Wir wählen den letzteren Weg, auf dem es uns jedoch auch eben nicht vergönnt sein wird, grofse Fortschritte zu machen. Abermals verlassen wir zunächst den Cylinder selbst, und halten uns an die oben bereits angewandten einfachen Vorstellungen, aus denen wir stets mit Leichtigkeit die verwickelteren Erfolge an jenem abzuleiten vermögen. Wir nehmen zuerst nur die beiden in einer Flucht ausgebreiteten, mit einer Schicht feuchten Leiters bedeckten Erregerplatten,

ein flaches Erregerpaar, zur Hand. Jetzt legen wir einen unwirksamen leitenden Bogen, von stets gleichem Widerstande und stets gleichem Abstande $2\alpha$ zwischen seinen Fufspunkten, an verschiedene Stellen des feuchten Leiters an. Es versteht sich von selbst, dafs, wo auch dieses Anlegen geschehen möge, der Bogen von einem durch Nebenleitung gewonnenen Strome in der Richtung von dem Zinke nach dem Kupfer durchflossen sein wird, denn er ist an einen Leiter angelegt, der keinen Punkt hat, der nicht in dieser Richtung von einem Strome durchkreist wäre. Der einzige Fall macht eine Ausnahme hievon, wo der Bogen mit seinen Fufspunkten in einer der Zinkkupfergrenze parallelen, also auf die Strömungsrichtung senkrechten Richtung an den Leiter angelegt ist. In diesem Falle wird er niemals von einem Strome durchflossen sein. Die geneigten Lagen, welche den Uebergang von diesem Falle bis zu demjenigen bilden, wo der Bogen senkrecht auf die Zinkkupfergrenze und in der Strömungsrichtung selbst an den feuchten Leiter angelegt ist, lassen wir unberücksichtigt. Dieser hingegen ist es, der uns eigentlich beschäftigen soll. Um ihn jedoch noch möglichst zu vereinfachen, ertheilen wir dem Bogen mit den Erregerplatten und der Flüssigkeitsschicht gleiche Breite, weil wir sonst noch Stromantheile in demselben in Betracht zu ziehen haben würden, welche von solchen Punkten der Erregerplatten ausgehen, die nicht mit den beiden Fufspunkten in einer und derselben Senkrechten auf die Zinkkupfergrenze liegen; was eine noch bedeutendere Verwickelung der ohnehin schon hinreichend mifslichen Aufgabe mit sich bringen dürfte. Wir können uns alsdann den Bogen von derselben Dicke wie die Schicht feuchten Leiters, und von gleichem eigenthümlichen Widerstande vorstellen, so ist sein Widerstand, im Verhältnisse zu demjenigen des feuchten Leiters zwischen den Fufspunkten, gleich der Länge $2\lambda$ des Bogens im Verhältnisse zu $2\alpha$. Wir haben nun den Bogen von dem einen Ende der Vorrichtung nach dem anderen, über die Zinkkupfergrenze fort, in darauf senkrechter Richtung zu verschieben, und an jeder Stelle die Frage nach der Stärke des abgeleiteten Stromarmes zu beantworten, da wir, in Betreff seiner Richtung, bereits im Reinen sind. Um uns leichter über die Lage des Bogens verständigen zu können, wollen wir die Entfernung des Punktes, der den Abstand zwischen seinen Fufspunkten halbirt, von der Zinkkupfergrenze mit $\Delta$ bezeichnen. Es sei abermals die Projection dieser Grenze, wie in Fig. 54, der Ursprung eines Coordinatensystemes; das Zink liege auf der positiven, das Kupfer auf der negativen Seite der Abscissen; sei $s$ die gemeinschaftliche Länge beider Erregerplatten. Was wir zu bestimmen haben, ist alsdann die Curve $Y = F(\Delta)$, welche das Gesetz der wechselnden Stromstärken in

dem unwirksamen leitenden Bogen darstellt, während er längs der Vorrichtung verschoben wird, oder während $\Delta$ alle möglichen Wérthe zwischen $+\varepsilon - \alpha$, und $-\varepsilon + \alpha$ durchläuft. Der Weg, der hier eigentlich befolgt werden müfste, wenn dies nicht bereits die Kräfte der Analyse überstiege, wäre der, $Y$ für einen, oder, wenn sich Discontinuität der Function kundgäbe, für soviel Werthe von $\Delta$ als nöthig zu berechnen, und alsdann das gefundene Ergebnifs nach $\Delta$ sowohl, als nach $\alpha$ und $\lambda$ zu discutiren. Von einer derartigen Leistung kann natürlich nicht entfernterweise die Rede sein; wir werden uns glücklich schätzen müssen, wenn es uns gelingt, auch nur ein Paar der allerhervorstechendsten Eigenschaften der Curve $F(\Delta)$ theoretisch zu ermitteln, und im Uebrigen werden wir uns beeilen, den etwas schwankenden Boden dieser Erörterung sobald als möglich mit dem sicheren Grunde der Erfahrung zu vertauschen, wo übrigens, erwähntermafsen, mehr Schwierigkeiten unser warten, als man von vorn herein zu glauben geneigt sein möchte: Schwierigkeiten, zu deren bestmöglicher Besiegung uns aber gerade das Wenige in hohem Mafse ersprieſslich scheinen wird, was wir hier noch mit Sicherheit mit Hülfe der Anschauung abzuleiten vermögen.

Stellen wir uns jetzt einen bestimmten Fall, z. B. $\Delta > +\alpha$ vor Augen. Der Bogen steht (S. Fig. 58) mit beiden Füfsen über dem Zinke. Wir suchen unwillkürlich, bei Betrachtung der Figur, da es eine Strombestimmung in einer Nebenschliefsung gilt, die gewöhnlichen, von Ohm aufgestellten Grundsätze für die Stromvertheilung in verzweigten Leitern in Anwendung zu bringen. Allein wir stofsen dabei auf ein Hinderniſs, wodurch der Fall auf den ersten Blick nicht wenig fremdartig erscheint. Es ist der Umstand, dafs, während die Ohm'sche Formel für die Stromstärke in einer Nebenschliefsung stets gleiche Stromstärke an den beiden Stellen des Hauptleiters voraussetzt, an denen die Nebenschliefsung aus- und einmündet, hier im Gegentheile diese Stärke nur in dem besonderen Falle $\Delta = 0$ sich als eine und dieselbe, in allen anderen hingegen als mehr oder weniger verschieden sich darstellt. Diese Schwierigkeit ist indefs nur eingebildet. Bedenkt man nämlich, wodurch die gröfsere Stärke des Stromes in der Schicht feuchten Leiters bei dem Fufspunkte, der der Zinkkupfergrenze näher steht, bedingt ist, so zeigt es sich, dafs sie herrührt von den partiellen Strömen, die zwischen den Fufspunkten des Bogens auf dem Zink entwickelt worden sind, und sich, einer nach dem anderen, dem Strömungsvorgange angeschlossen haben, der bereits bei dem von der Zinkkupfergrenze entfernteren Fufspunkte des Bogens nach dem Kupfer hin herrschte. Es ist aber klar, dafs, von diesen partiellen Strömen, keiner streben

wird, nunmehr seinen Weg durch den Bogen zu nehmen, und man sieht also, dafs man diesen eigentlich als angelegt betrachten kann an einen gewissen Theil der Flüssigkeitsschicht, welcher diejenigen partiellen Ströme enthält, die von dem freien Ende des Zinkes ab bis zu der Gegend entwickelt worden sind, in welcher der von der Zinkkupfergrenze entferntere Fufspunkt verweilt; während die Summe dieser partiellen Ströme von hier ab bis zu der entsprechenden Gegend des Kupfers allerdings einen Strom von beständiger Gröfse vorstellt, wie ihn die Ohm'sche Formel für die Stromstärke in einer Nebenschliefsung voraussetzt.

Es würde jedoch irrig sein, wollte man nun, für einen bestimmten Werth von $\Delta$, diesen Strömungsantheil aussondern, den Bogen als Nebenschliefsung an seine Bahn angelegt betrachten, und nun überlegen, in welchem Verhältnisse wohl die partiellen Ströme sich zwischen jener Bahn und den neuangebotenen Wegen vertheilen. Es ist vielmehr deutlich, dafs, durch das Anlegen des Bogens, sämmtliche isoëlektrische Curven in der Schicht feuchten Leiters eine Verzerrung erleiden müssen, die nicht aufser Acht gelassen werden darf. Die Querschnitte des Bogens nämlich, in welchem eine Elektricitätsbewegung in der Richtung stattfinden soll, die der Längenaxe der Anordnung entspricht, müssen selber isoëlektrische Curven sein; an den ersten derselben, da, wo ein Stromantheil in den Bogen tritt, und ebenso an den letzten unter ihnen, da, wo derselbe Stromantheil den Bogen wiederum verläfst, müssen sich die isoëlektrischen Curven in der Flüssigkeitsschicht auf bestimmte Weise anschliefsen. Sie werden es vermuthlich in der Art thun, dafs, für den erstgenannten Fufspunkt, die hinter dem Bogen, von der Zinkkupfergrenze aus gerechnet, gelegenen Curven gleicher Spannung sich nach dem Querschnitte des Bogens hin biegen; für den der Zinkkupfergrenze näheren thun es die derselben näheren isoëlektrischen Curven. S. die Figur. Man sieht, wie solchermafsen die ganze Gestaltung des Strömungsvorganges durch das Hinzukommen des Bogens eine andere und verschiedene wird, über welche sich, wie mir scheint, eben nicht viel mehr Sicheres aussagen läfst.

Wir können nun der Lösung unserer Aufgabe auf zweierlei Wegen näher rücken, die in der That zu denselben Ergebnissen führen. Wir können uns zunächst, wobei wir mehr innerhalb des gewöhnlichen Kreises hergebrachter Vorstellungen über Vertheilung von Strömen verweilen, an die Betrachtung des Strömungsvorganges in dem Bogen als in einer Nebenschliefsung halten, die an einen Hauptleiter angelegt wäre, der den bezeichneten Stromantheil von beständiger Gröfse führt, indem wir bei den Grenzen der Genauigkeit, die uns doch einmal gesteckt

sind, durch die Verzerrung der isoëlektrischen Curven nicht sonderlich beeinträchtigt werden. Man kann alsdann, mit Entschiedenheit, Folgendes behaupten: Die Function ($F$) mufs der Art sein, dafs sie, mit abnehmendem $\Delta$, erst langsam, dann schneller und schneller wächst; denn so wächst die Stärke des Stromantheiles, von dem es in die Augen fällt, dafs er sich in den Bogen verzweigen mufs, ohne dafs man einen Grund einsähe, weswegen die Ableitung ungünstiger und ungünstiger würde, so dafs sie das Wachsen der Stromstärke in dem Hauptleiter, an den man sich den Bogen angelegt zu denken hat, allmälig auf- oder gar überzuwiegen im Stande wäre. Ja es scheint sogar, als müsse sich die Ableitung, mit abnehmendem $\Delta$, eher günstiger, als ungünstiger gestalten, da der Stromantheil, der sich zwischen dem Bogen und einem Theile der Flüssigkeitsschicht zu verzweigen strebt, je kleiner $\Delta$, in ein um so engeres Bett eingezwängt sich findet. Die Curve steigt also, convex gegen die Abscissenaxe, bis zum Punkte $\Delta = +\alpha$ an. Hier, scheint es, müsse ein ausgezeichneter Punkt derselben, ein Wendepunkt nämlich, liegen. Die Ableitung wird zwar im Ganzen immer noch günstiger und günstiger, bis $\Delta = 0$ geworden ist, wo der sich in den Bogen verzweigende Stromantheil seinen gröfsten Werth, und das Bette, worin er fliefst, zugleich auf allen Punkten seine gröfste Enge erreicht hat; allein von $\Delta = \alpha$ bis zu $\Delta = 0$ wächst diese Enge nicht mehr nach demselben Gesetze, wie vor $\Delta = \alpha$, sondern von der Zinkkupfergrenze aus erweitert sich die Strombahn wieder in gleichem Mafse, wie sie vorher an Enge zunahm, so dafs man sieht, die Steilheit der Curve mufs von $\Delta = \alpha$ bis $\Delta = 0$ im Abnehmen begriffen, oder, dieses Stück derselben mufs gegen die Abscissenaxe concav gebildet sein. Ich bevorworte, dafs der Versuch, wie sich später zeigen wird, diese Vorstellung bestätigt, ja, dafs ich erst durch ihn veranlafst worden bin, den Grund für ein solches Verhalten aufzusuchen und, so gut es anging, zu durchschauen.

Die andere Art der Betrachtung, deren wir uns bedienen können, um zu denselben Ergebnissen zu gelangen, und die wir, gröfserer Sicherheit halber, bei so verwickelter Erörterung, nicht verabsäumen wollen, beruht auf den früher dargelegten Spannungsprincipien selber. Es ist bereits bemerkt worden, dafs durch die Anwesenheit des Bogens die allgemeine Gestalt der isoëlektrischen Curven in der Flüssigkeitsschicht eine Umwandlung erfährt; es müssen sich dieselben in angemessener Weise den beiden Endquerschnitten des Bogens anschliefsen. Diese Endquerschnitte empfangen somit jeder eine gewisse Spannung, und der Strömungsvorgang, der durch den Bogen seinen Weg nimmt, ist dem veränderlichen Unterschiede dieser Spannungen gerade, dem bestän-

digen Widerstande des Bogens aber umgekehrt proportional. Nun ist wohl ohne Anstofs klar, dafs der Unterschied der Spannungen an beiden Enden des Bogens stets im Verhältnisse stehen wird mit dem Unterschiede der Spannungen, welche die isoëlektrischen Curven besitzen, die in der Gegend der Fufspunkte an den Grenzen des feuchten Leiters winkelrecht aufstehen. Verschiebt man den Bogen von dem freien Ende des Zinkes nach der Grenze der ungleichartigen Metalle hin, so umfafst er, mit seinen Fufspunkten, immer eine gleiche Anzahl isoëlektrischer Curven, deren Abstände von einander längs der Projection der Oberfläche der Flüssigkeitsschicht, als einer Strömungscurve, gemessen sind; wobei wir freilich wieder die Verzerrung derselben durch die Anwesenheit des Bogens aufser Acht lassen. Der Unterschied der Spannungen, welche demgemäfs den Endquerschnitten des Bogens zukommen, wird bedingt sein durch die Summe der Unterschiede der Spannungen, die zwischen diesen isoëlektrischen Curven, von der einen zur andern, herrschen. Wären alle diese Curven gleich lang, und hätten sie in allen ihren Punkten gleichen Abstand von einander, so würde also der Unterschied der Spannungen der Endquerschnitte des Bogens stets einer und derselbe sein; es wäre der Fall einer Nebenschliefsung, die längs einem prismatischen Hauptleiter verschoben würde. Anders verhält sich die Sache hier; fafst man, wie man soll, die isoëlektrischen Curven als die senkrechten Querschnitte der Strombahn auf, und zieht man das oben S. 573 Auseinandergesetzte in Erwägung, so bemerkt man leicht, wie die Unterschiede der Spannungen von Curve zu Curve in unserer Flüssigkeitsschicht in raschem Mafse wachsen müssen. Dies dauert fort bis zur Zinkkupfergrenze, wo die kürzeste isoëlektrische Curve aufsteht, oder der Querschnitt der Strombahn am kleinsten geworden ist; von hier an nehmen die Unterschiede der Spannungen zwischen den Curven gleicher Spannung wieder ab. Man sieht also, dafs der Strömungsvorgang im Bogen, bei seinem Verschieben vom freien Ende des Zinkes bis zur genannten Grenze, oder bis $\Delta = \alpha$, in fortwährendem Wachsen begriffen sein mufs. Es ist nicht wohl möglich, auf diesem Wege einsichtlich zu machen, dafs die Curve, in der dieses Wachsen vor sich geht, convex gegen die Abscissenaxe sein wird, denn man kennt nicht nur nicht das Gesetz, wonach die isoëlektrischen Curven sich verkürzen, sondern auch dasjenige nicht, welches ihre Abstände untereinander beherrscht. Wie dem aber auch sei, es stellt sich wiederum heraus, dafs, beim Ueberschreiten der Zinkkupfergrenze mit dem Fufspunkte des Bogens, ein solcher ausgezeichneter Punkt der Curve sich einstellen müsse, dafs nun plötzlich das Wachsthum der Ordinate mit verminderter und immer geringerer Geschwindigkeit geschieht; denn dies mufs

die Folge davon sein, dafs für die Reihe isoëlektrischer Curven zwischen der Zinkkupfergrenze und dem Fufspunkte, der dieselbe bereits überschritten hat, die Unterschiede der Spannungen von Curve zu Curve, statt ferner zu wachsen, vielmehr wieder in schneller Abnahme begriffen sind.

Wir dürfen wohl, nach alledem, die Curve $Y = F(\Delta)$ in unserer Fig. 58 in der beschriebenen Gestalt auftragen, ohne uns allzugrofser Kühnheit schuldig zu machen. Die Ordinate $[\alpha]y'$ bezeichnet die Stellung der Mitte des Bogens, in welcher der eine Fufspunkt im Begriff ist, die Zinkkupfergrenze zu überschreiten und wo ein Wendepunkt der Curve eintritt. Was, für negative Werthe von $\Delta$, nunmehr der Fall sein werde, erhellt aus folgender Betrachtung.

Man erinnert sich, dafs, nach einer von Ampère [1] eingeführten Vorstellungsweise, ein galvanischer Strom angesehen werden könne als bestehend aus zwei gleich starken und entgegengesetzten Strömen positiver und negativer Elektricität, welche einander auf jedem Punkte durchdringen. Für gewöhnlich wird nur der eine derselben, und zwar der positive, in Betracht gezogen; so haben auch wir im Vorhergehenden einzig diesem unser Augenmerk zugewandt. Allein beide Ströme gehorchen einerlei Gesetzen der Leitung; alles folglich, was wir von dem positiven Strome über dem Zinke für einen bestimmten Werth von $\Delta$ gesagt haben, pafst in gleicher Weise auf den negativen Strom von entgegengesetzter Richtung über dem Kupfer, wenn wir zugleich den Bogen auf die negative Seite verpflanzt denken, d. h. $\Delta$ den nämlichen, aber negativen Werth zuschreiben. An die Stelle dieses negativen Stromes nun setzen wir wiederum den positiven von entgegengesetzter Richtung, den wir über dem Zinke betrachteten; für jedes $\Delta$ ist er dem negativen völlig gleich. Die Gleichung $Y = F(\Delta)$ mufs also so beschaffen sein, dafs $Y$ für gleiche positive und negative Werthe von $\Delta$ gleiche Werthe annimmt, und wir können uns die Betrachtung der letzteren daher füglich ganz ersparen: die Curve der abgeleiteten Stromstärken in dem Bogen ist symmetrisch zur Zinkkupfergrenze angeordnet. Für $\Delta = 0$ findet mithin ein oberer Grenzwerth der Ordinate $Y$ statt, welcher übrigens begreiflich stets weit unter dem gleichzeitigen Werthe der Curve der Gesammtstromstärken in der Schicht feuchten Leiters (für $x =$ nahezu Null, s. oben S. 581) stehen bleibt, die sich hier bis zu einer sehr beträchtlichen, obwohl endlichen Höhe assymptotisch der Ordinatenaxe anschliefst.

[1] Annales de Chimie et de Physique. Octobre 1820. t. XV. p. 59. — Recueil d'Observations électro-dynamiques etc, p. 3.

Bei alledem wird natürlich, wie auch Eingangs bevorwortet wurde, gleiche Länge der Erregerplatten vorausgesetzt. Bei ungleicher Länge derselben wird die Curve asymmetrisch, die ganze Erörterung weit verwickelter. Es läfst sich nicht mehr sagen, für welche Stellung des Bogens die Stromstärke ihren oberen Grenzwerth erreicht. Wendepunkte der Curven scheinen aber noch immer dann eintreten zu müssen, wenn eben der eine Fufspunkt des Bogens die Zinkkupfergrenze überschreitet oder verläfst. Veränderung des Widerstandes ($2\lambda$) des Bogens bei gleicher Spannweite ($2\alpha$) desselben wird die allgemeine Gestalt der Curve wohl unbeeinträchtigt lassen, nur die absolute Gröfse aller Ordinaten wird eine verhältnifsmäfsige Veränderung erfahren. Der Einflufs der Spannweite des Bogens bei gleichem Widerstande auf die Form der Curve wird dagegen beträchtlich sein, was keiner Erörterung bedarf, da die Ordinaten $x = \alpha$ und $x = \varepsilon - \alpha$ ihre Stelle verändern und einander näher rücken. Aufserdem scheint es, als müsse die Stromstärke in dem Bogen zunehmen, da, bei gleichem Widerstande, ein gröfserer Unterschied zwischen den Spannungen seiner Endquerschnitte herrscht. Den stärksten Strom müfste man also erhalten, wenn man, bei gleichbleibendem Widerstande des Bogens und symmetrischer Stellung desselben über der Mitte der Vorrichtung, die alsdann allein noch möglich ist, ihm die Spannweite $2\varepsilon$ ertheilte, oder $\alpha = \varepsilon$ machte. Indessen wird der Einflufs von $\alpha$ auf die Stromstärke in dem Bogen, für $\Delta = 0$ oder für eine feste Stellung des der Zinkkupfergrenze näheren Fufspunktes, um so geringer ausfallen, je gröfser $\alpha$ bereits ist, denn um so geringer sind die Unterschiede der Spannungen von isoëlektrischer Curve zu isoëlektrischer Curve, die er, für gleiche Zuwachse von $\alpha$, zwischen seine Fufspunkte aufnimmt.

Wir verlassen nunmehr das einfache Erregerpaar, und wenden uns, mit dem unwirksamen leitenden Bogen, zu der länglich viereckten Rinne, welche, wie man sich entsinnt (S. oben S. 583), betrachtet werden kann als zusammengesetzt aus vier flachen Erregerpaaren, die an ihren Zinkkupfergrenzen, bei geringer Dicke der Flüssigkeitsschicht, in ausspringende rechte Winkel gebogen sind, und in der Mitte einer jeden der vier Seiten, wo zugleich die Schichten feuchten Leiters zu Eins verschmelzen, beziehlich mit Zink und Kupfer, genug gleichartigen Metallen, aneinanderstofsen. Legen wir den Bogen an eines der flachen Erregerpaare allein an, so wissen wir bereits, für seine mannigfaltigen, solchergestalt möglichen Stellungen, Richtung wie auch ungefähre Stärke des Stromes in demselben zu beurtheilen. Geben wir ihm eine solche Lage, dafs die Mitte einer der Seiten der Rinne zugleich seine Spannweite halbirt, so wird, wie man leicht erkennt, welches auch diese Spannweite

sei, niemals ein Strom in dem Bogen gegenwärtig sein. Denn man sieht, dafs an seine Endquerschnitte sich isoëlektrische Curven von gleicher absoluter Spannung anschliefsen werden; der Unterschied ihrer Spannungen wird also Null sein, und die Stromstärke in dem Bogen, die diesem Unterschiede gerade, dem Widerstande des Bogens umgekehrt proportional ist, ebenfalls verschwinden. Verschieben wir den Bogen dergestalt, dafs seine Fufspunkte nicht mehr auf entsprechenden Punkten zweier der vier flachen Erregerpaare aufstehen, aus denen wir uns die Vorrichtung zusammengesetzt denken, so werden die Endquerschnitte nicht mehr einerlei Spannung besitzen und es wird mithin ein Strom in dem Bogen zugegen sein. Der Kunstgriff, um Richtung und auch ungefähre Stärke desselben zu beurtheilen, besteht darin, dafs man, bei unverändertem Widerstande des Bogens, sich den einen Fufspunkt dieses festgestellt denkt, den anderen aber durch Vermindern der Spannweite an diejenige Stelle desselben flachen Erregerpaares versetzt, wo die nämliche Spannung herrscht, wie an der Stelle des anderen Erregerpaares, von der man ihn fortgenommen hat. Dieser Grundsatz läfst sich nach allem Vorhergehenden, und bei einem Blick auf die Fig. 55, welche die Anordnung der isoëlektrischen Curven für eine beliebige Seite der Rinne zeigt, so leicht auf die verschiedenen Stellungen des Bogens und bei allen möglichen ihm zugeschriebenen Spannweiten anwenden, dafs es vergebliche Mühe sein würde, diese mannigfaltigen Fälle hier mit vielen Worten durchgehen und jeden einzeln zergliedern zu wollen; es möge dies nur, beispielsweise, für den einfachsten und wichtigsten derselben geschehen. Sei die Spannweite des Bogens kleiner als die halbe Länge einer der kurzen Seiten, und stehe er in der Mitte einer der vier Seiten, gleichviel zunächst welcher, auf. Der Strom ist Null; verschieben wir den Bogen, und ist er über Zink befindlich, so wird in ihm ein Strom stattfinden in der Richtung in der er verschoben ist; steht er über Kupfer, so wird er in umgekehrtem Sinne durchströmt. In beiden Fällen ist der Strom um so stärker, je gröfser die Verschiebung ist; und er schliefst sich, seiner Stärke nach, zuletzt offenbar an denjenigen an, den man erhält, wenn man den Bogen mit dem einen Fufspunkte auf die Mitte der Seite aufsetzt und es so im Grunde nur noch mit einem flachen Erregerpaare zu thun hat. Doch ist es denkbar, dafs an dieser Stelle, wo der Bogen eben ganz auf das eine Erregerpaar hinübertritt, ein ausgezeichneter Punkt der Curve der Stromstärken in demselben stattfinden könne. Ueberschreitet er sodann, auf dem einen Erregerpaare, die Zinkkupfergrenze, so tritt der früher bezeichnete Wendepunkt der Curve ein. Ich habe gewagt, in Fig. 57 diese Curve durch Punkte neben derjenigen anzudeuten, welche

das Gesetz der wachsenden Stromstärken in der feuchten Schicht der Rinne vorstellen soll; die punktirten Ordinaten, welche die Ordinatenaxen beiderseits begleiten, bezeichnen die Stellungen des Bogens, wo er mit seinem einen Fufspunkte die Zinkkupfergrenze zu überschreiten im Begriff ist, und ein Wendepunkt der Curve der Stromstärken in demselben eintritt. Den stärksten Strom wird man an dieser Vorrichtung beiläufig erhalten, wenn der Bogen, mit seinen Fufspunkten, gerade eines der flachen Erregerpaare umfafst; gröfsere Spannweite mufs wiederum geringere Stromstärke geben. Soll der Bogen an nur eine Seite der Rinne angelegt sein, so erscheint als die vortheilhafteste Anordnung diejenige, bei welcher seine Spannweite der halben Länge der Seite gleichkommt, so dafs er, mit dem einen Fufspunkte auf der Mitte der letzteren aufstehend, mit dem anderen gerade bis an eine der beiden Zinkkupfergrenzen reicht.

Es bleibt uns ein letzter Schritt zu thun übrig. Alles bisher Gesagte galt unter der Bedingung, dafs die Erregerplatten rechteckig und die beiden Füfse des Bogens der Zinkkupfergrenze parallel und von gleicher Breite mit den Platten seien. Es handelt sich nun wieder darum, uns einen Uebergang von diesen, anfangs der Einfachheit halber gemachten Voraussetzungen zu der cylindrischen Vorrichtung zu bahnen, die uns ein Bild von der Anordnung der ungleichartigen Gebilde im Primitivmuskelbündel gewähren soll. Wir wollen uns die Herzählung der einzelnen Umwandlungen ersparen, die Stück für Stück mit dem Schema der Rinne und des daran gelegten Bogens vorgenommen werden müssen, um allmälig zu dem Bilde des kupfernen, am Mantel verzinkten, überall mit einer gleich dicken Schicht eines feuchten Leiters bekleideten Cylinders zu gelangen, an welche letztere ein unwirksamer leitender Bogen, sei's aus einem feuchten Leiter, sei's aus einem gleichartigen Metalle bestehend, in einer durch die Axe der Vorrichtung gelegten Ebene angebracht ist. Veranschaulicht man sich die Anordnung der isoëlektrischen Curven an einer solchen Vorrichtung und hält man den Grundsatz fest, nach welchem wir an der Rinne verfuhren, um die Richtung und die ungefähre Stärke der Ströme in dem Bogen zu beurtheilen, so kommt man zu der Ueberzeugung, dafs durch alle diese Umwandlungen innerhalb der Grenzen der Genauigkeit, über die wir auch sonst nicht hinausgekonnt haben, keine wesentliche Veränderung in dem Gesetze hervorgebracht werden kann, wonach sich die Stromstärke in dem Bogen für seine verschiedenen Stellungen rings um die Rinne richtet, so dafs die punktirte Curve, die wir Fig. 57 für diese gelten liefsen, noch immer für den Cylinderdurchschnitt ihre Geltung wird bewahren können.

Wir haben uns demnach jetzt, auf theoretischem Wege, so weit wie möglich dem Ziele genähert, welches wir uns im Beginne dieser Untersuchung vorgesetzt hatten. Wir wollten den Versuch machen, ob die vielbeschriebene cylindrische Vorrichtung elektromotorische Wirkungen liefere, die denen eines Muskelbündels hinlänglich genau entsprächen, um daraus auf eine Uebereinstimmung der inneren Anordnung der ungleichartigen Gebilde schliefsen zu können. Zuerst, in der vorigen Nummer, erkannten wir die Beschaffenheit des Strömungsvorganges an jener Vorrichtung; allein damit war uns noch wenig gedient, weil wir am Muskelbündel nicht diesen Vorgang selbst vor Augen hatten, sondern nur das Gesetz der Ströme, die einen verschiedentlich an das Bündel angelegten Bogen durchkreisen. Wir mufsten uns daher nochmals auf den Weg machen, und das Gesetz der Ströme zu erforschen suchen, die einen verschiedentlich an die cylindrische Vorrichtung angelegten Bogen durchkreisen; hiemit sind wir jetzt, so gut es gehen wollte, zu Stande gekommen. Beide Gesetze, das der abgeleiteten Ströme am Muskel, und das derjenigen an der cylindrischen Vorrichtung, befinden sich aber noch, von ihrem verschiedenen Ursprunge her, in sehr verschiedener Gestalt, so dafs es schwer fällt, ihre Einerleiheit, obschon sie vorhanden ist, unter diesen Verkleidungen zu durchschauen. Diese Einerleiheit zu entwickeln läge uns jetzt ob.

Um jedoch die Zweifel zu beschwichtigen, die unserer theoretischen Erörterung anhaften möchten, da dieselbe der Gewährleistung der Rechnung oder eines strengen synthetischen Verfahrens leider entbehren mufste, wollen wir zuvor uns auch die thatsächliche Gewifsheit für ihre Richtigkeit dadurch verschaffen, dafs wir uns in Wirklichkeit eine solche Vorrichtung herstellen, wie wir sie bisher nur als theoretisches Schema benutzt haben, und daran unmittelbar durch den Versuch die Gröfse und Richtung der in mannigfaltigen Lagen eines ableitenden Bogens gewonnenen Ströme erforschen, um sie theils mit den durch die Betrachtung, theils mit den am Muskel durch die Erfahrung gegebenen vergleichen zu können.

## 4. Versuche an dem einfach cylindrischen Kupferzinkschema eines Primitivmuskelbündels.

### (1) Vorversuche an den flachen Erregerpaaren.

Wir wollen zuerst, um uns mit dem zu befolgenden Verfahren und den ferneren Umständen des Versuchs vertraut zu machen, auch hier den Weg vom Einfacheren zum Verwickelteren verfolgen, der uns

in unseren theoretischen Erörterungen bereits so nützlich gewesen ist. Anstatt uns also sofort an den Cylinder selbst zu wenden, halten wir uns vor der Hand nur an die Verwirklichung des Fig. 53 vorgestellten Schema's; d. h. wir breiten auf dem Boden eines Troges eine Kupfer- und eine Zinkplatte in einer Flucht aus, lassen sie mit ihren Rändern aneinanderstofsen, und verbinden sie dergestalt, oder auf sonst eine Weise, metallisch unter einander, übergiefsen sie mit einer Schicht eines feuchten Leiters, und untersuchen mittelst eines an verschiedene Punkte desselben angebrachten Bogens die Richtung und Gröfse der Ströme, die sich dadurch erhalten lassen mögen.

Die erste Vorrichtung der Art, die ich mir anfertigen liefs, hatte folgende Beschaffenheit. Der eichene, mit Bernsteinlack gefirnifste Trog mafs im Lichten 430$^{mm}$ Länge und 110$^{mm}$ Breite bei 30$^{mm}$ Tiefe. Auf seinem Boden ruhten, an einer ihrer schmalen Seiten zusammengelöthet, eine Kupfer- und eine amalgamirte Zinkplatte, jede von 210$^{mm}$ Länge und 105$^{mm}$ Breite. Die Rückseiten der Platten waren, wie in allen folgenden Versuchen an flachen Erregerpaaren, dicht mit Bernsteinlack überzogen. Als feuchter Leiter diente eine 20$^{mm}$ tiefe Schicht Brunnenwassers. Quer über die mit einer Centimeter-Theilung versehenen langen Seiten des Troges glitten hölzerne Klemmen, von denen aus mit Fliefspapier in gewohnter Weise bekleidete Platinplatten von 25$^{mm}$ Breite in die Flüssigkeit tauchten, ohne jedoch je das unterliegende Metall zu berühren. Die Bekleidung, welche übrigens, zur Verminderung der Polarisation, noch bis an den Rand der Klemmen über die eingetauchte Strecke der Platten fortging, hatte hier, aufser dem früheren Zweck, die erste Erzielung wie die Erhaltung der Gleichartigkeit der metallischen Oberflächen zu befördern (S. oben S. 214), auch noch den anderen, die Berührung des Platins mit dem Zink und Kupfer zu verhüten, wenn wirklich einmal, durch einen Zufall, die ableitenden Platten gegen dieselben gestofsen worden wären. In dem Falle einer solchen Berührung nämlich würde sich an einer in den Bogen eingeschalteten stromprüfenden Vorrichtung der ungeschwächte Strom einer Platinzink- oder Platinkupferkette kund gegeben, und die Wahrnehmung der viel schwächeren, von der Flüssigkeit abgeleiteten Seitenströme des flachen Kupferzinkerregerpaares unmöglich gemacht haben. Ich glaubte anfangs, für diese Versuche einen ganz anderen, viel weniger empfindlichen Multiplicator, oder wenigstens nur die halbe Anzahl der Windungen des gewöhnlichen anwenden zu müssen; sehr bald aber fand ich, dafs ich, in vielen Fällen, auch hier der vollen Empfindlichkeit desselben bedurfte. Dies erklärt sich daraus, dafs die Ströme, welche hier beobachtet werden, durch doppelte Polarisation eine ungemeine Schwächung erfahren.

Erstens nämlich polarisirt sich das Kupfer des flachen Erregerpaars; der Strömungsvorgang in dem feuchten Leiter desselben wird also meist schon auf seinen beständigen unteren Grenzwerth gebracht sein. Fürs zweite polarisiren sich dann auch die Ableitungsplatten selbst, und so geschieht es, dafs viele der hier vorkommenden Wirkungen die der stärkeren thierischen Erreger nicht sehr übertreffen, ja sogar nicht selten weit unter denselben bleiben, wovon die folgenden Tafeln zahlreiche Beispiele abgeben werden.

In Betreff der hier angewandten Art der Ableitung ist nun freilich zunächst zuzugeben, dafs sie wesentlich von der einfachen bei unseren theoretischen Erörterungen vorausgesetzten abweicht, welche nämlich im Versuche das gegen sich hat, dafs sie so gut wie unausführbar ist. Wir hatten angenommen, dafs ein Bogen von gleicher Breite, Dicke und eigenthümlicher Leitungsfähigkeit mit der Schicht feuchten Leiters, und von endlicher Länge im Verhältnisse zu der zwischen seinen Fufspunkten begriffenen Strecke derselben, allein an ihre Oberfläche angelegt sei. Jetzt bedienen wir uns eines metallischen Bogens, dessen Widerstand fast unendlich gering im Verhältnisse zu dem der Schicht feuchten Leiters ausfallen mufs; und anstatt seine Enden an die Flüssigkeitsschicht in ihrer ganzen Breite und in einer ihrer Tiefe gleichkommenden Ausdehnung in der Längenrichtung anzulegen, tauchen wir sie in einer auf die Fläche der Erregerplatten senkrechten Ebene, zwar der Zinkkupfergrenze parallel, jedoch nicht in der ganzen Breite der Vorrichtung, in den feuchten Leiter ein. Indessen zeigt die nähere Betrachtung, dafs durch diese Abweichungen in der Art der Ableitung doch kein wesentlich verschiedener Erfolg derselben von dem im Vorigen vorausbestimmten bedingt sein könne. Was das Verhältnifs der Leitungsfähigkeiten betrifft, so ist schon oben bemerkt worden (S. 593), dafs es schwerlich einen anderen Einflufs auf die allgemeine Gestalt der Curve der Stromstärken in dem Bogen auszuüben vermöge, als die Vergröfserung oder Verkleinerung aller Ordinaten in demselben Mafsstabe. So wird auch der Umstand, dafs die Ableitung nicht in der vollen Breite der Vorrichtung geschieht, wie wir schon übereingekommen sind, zu vernachlässigen sein; doch soll, bei sogleich zu beschreibenden Versuchsreihen, demselben noch nach Möglichkeit abgeholfen werden. Was endlich das Eintauchen der ableitenden Platten in die Schicht feuchten Leiters anlangt, so sieht man, dafs in dem Falle $\Delta > + \alpha$ z. B. der Stromantheil, der hinter der von der Zinkkupfergrenze entfernteren Platte entwickelt worden ist, sich in den Bogen und die Flüssigkeitsstrecke zwischen seinen Fufspunkten verzweigen wird, wie wir es auch sonst voraussetzten; der zwischen diesen Fufspunkten entwickelte Strom-

antheil im Verein mit dem nicht den Weg durch den Bogen nehmenden aber wird die der Zinkkupfergrenze nähere Platte als metallischen Schirm durchsetzen müssen. Nach wie vor sieht man leicht bei dieser Anordnung, dafs die Curve bis zu $\Delta = \alpha$ convex gegen die Abscissenaxe ansteigen müsse; schwieriger zu durchschauen ist aber jetzt die Art und Weise, wie der hier stattfindende Wendepunkt zu Stande kommt. Am leichtesten geht dies von Statten, wenn man die zweite der oben S. 590 dargelegten Betrachtungsweisen festhält, die von den Spannungsprincipien selbst ausgeht. So gelangt man auch wieder zu der Einsicht, dafs $\Delta = 0$ noch immer den oberen Grenzwerth der Ordinate mit sich bringen, und endlich, dafs die Curve zur Abscissenaxe fort und fort symmetrisch angeordnet sein müsse, wobei man aufserdem noch von dem allgemeinen S. 592 auseinandergesetzten Verfahren Gebrauch machen kann.

Der Versuch nimmt nunmehr folgende Gestalt an. Die beiden Platinplatten stehen zur Kette geschlossen in einem Gefäfse mit Brunnenwasser, worin sie gleichartig geworden sein müssen. Man hebt sie aus diesem Gefäfse hervor und taucht sie möglichst gleichzeitig an zwei zu untersuchenden Stellen des Troges ein, in welchen das flache Erregerpaar ein für allemal versenkt ist. Oder man benutzt den Trog selbst anstatt des ersten Gefäfses, indem man nämlich den Platten darin eine solche beständige Stellung anweist, dafs sie nur von einem unmerklichen Strome durchkreist sind; bei der vorliegenden einfachen Vorrichtung also der Theorie nach die, wo beide Platten sich einander möglichst nahe, am äufsersten Ende eines der beiden Metalle befinden, oder wo sie in einer und derselben Querebene des feuchten Leiters nebeneinander angebracht sind. Von dieser unwirksamen oder nahezu unwirksamen Stellung aus führt man alsdann, sei's die eine, seien's beide Platten, sei's durch das Wasser des Troges, sei's durch die Luft, an ihren neuen Bestimmungsort.

An messende Versuche ist, bei der doppelten in der Kette vorhandenen Polarisation, hier begreiflich nicht zu denken. Alles, was wir erwarten dürfen, ist, dafs sich zwischen allen der Länge der Vorrichtung nach merklich auseinanderfallenden Punkten stets ein Strom in der Richtung vom Zink zum Kupfer kund geben werde; dafs dieser Strom beim Vorrücken mit dem Bogen von beständiger Spannweite nach der Zinkkupfergrenze hin, erst langsam, dann schneller und schneller anwachsen werde; dafs die Curve der Stromstärken in dem Bogen, beim Ueberschreiten der Zinkkupfergrenze, einen Wendepunkt erfahre; dafs nun das Wachsthum der Ordinate bis zur symmetrischen Stellung des Bogens über der Mitte der Vorrichtung, wo sie den oberen Grenzwerth erreicht, immer langsamer erfolge; dafs die Stromstärke für gröfsere

Spannweiten des Bogens beträchtlicher als für kleinere ausfallen werde. Endlich, und dies verdient Aufmerksamkeit, scheint es, als dürften wir gewärtigen, dafs die Gröfse des abgeleiteten Stromes für entsprechende Stellungen beider Fufspunkte allein über Zink und allein über Kupfer eine und dieselbe sein werde.

Wie grofs war mein Erstaunen, als ich, bei Anstellung des Versuches, Folgendes fand. Als beide Platinplatten in die Flüssigkeit über dem Zink allein eingetaucht wurden, entstand ein sehr schwacher Ausschlag, einen Strom in dem Bogen von dem Zink zum Kupfer anzeigend. Als darauf, bei gleicher Spannweite des Bogens, der eine Fufspunkt desselben über Kupfer angebracht wurde, flog die Nadel, in demselben Sinne, an die Hemmung. So weit war Alles in der Ordnung. Als aber nun die beiden Platinplatten, entsprechend ihrer ersten Stellung über Zink allein, über Kupfer versenkt wurden, hätte, der Theorie nach, nur ein Ausschlag in derselben Richtung und Stärke erfolgen sollen, wie über dem Zink. Das Ergebnifs aber war, dafs auch hier die Nadel an die Hemmung flog, wenngleich mit geringerer Heftigkeit, als vorher bei der Verbindung von Punkten der Flüssigkeit über Zink und Kupfer. Folgende Tafel zeigt die beobachteten Zahlenwerthe im Mittel aus vielen Versuchen. *Z* bedeutet darin, wie in den folgenden Tabellen, vor dem Zinke, *K* vor dem Kupfer, *ZK* vor Kupfer und Zink zugleich; *A* Ausschlag, *B* beständige Ablenkung; 90°° Anschlagen an die Hemmung.

| *Z* | | *ZK* | | *K* | |
|---|---|---|---|---|---|
| *A* | *B* | *A* | *B* | *A* | *B* |
| 2.5° | 0° | 90°° | 25° | 90°° | 16° |

Man sieht demnach, dafs entweder unsere Theorie falsch sein, oder dafs hier ein besonderer, nicht in Betracht gezogener Umstand obwalten mufs, der die einfachen Verhältnisse, die wir bei Aufstellung derselben angenommen haben, trüben kommt. Dem sei wie ihm wolle, dieses Hindernifs mufs vor allen Dingen aus dem Wege geräumt werden, ehe wir einen weiteren Schritt in unserer Untersuchung vornehmen.

### (u) Vergleichende Untersuchung der Kupfer- und der Zinkstrecke der flachen Erregerpaare.

Da ich, in der obigen Auseinandersetzung, bei wiederholter Betrachtung keinen Grund für jene Unregelmäfsigkeit zu entdecken ver-

mochte, so mufste der Versuch, unter abgeänderten Umständen, zur Lösung des Räthsels befragt werden.

Zunächst zeigte sich, für die Ausführung einer ausgedehnteren Versuchsreihe, die erstbeschriebene Vorrichtung unhandlich. Sie wurde daher in der Weise abgeändert, die Fig. 59 im Grundrisse zeigt. Der 110$^{mm}$ breite Raum des Troges wurde durch Einlegen von drei gefirnifsten Holzstäben von 25$^{mm}$ Dicke in eine schmale Rinne von 35$^{mm}$ Breite verwandelt und auch auf ähnliche Weise bis auf 400$^{mm}$ Länge verkürzt. Die eine senkrechte lange Wand dieser Rinne ward mit dem flachen Erregerpaare bekleidet, dessen Platten somit, bei fast derselben Länge wie vorher, nur noch einer Breite von 30$^{mm}$, gleich der Tiefe des Troges, bedurften. Statt mit ihren kurzen, in der Mitte der Länge der Rinne aneinanderstofsenden Seiten zusammengelöthet zu sein, war ihnen, beim Ausschneiden aus dem Blech, in der Mitte ihrer einen langen Seite eine Handhabe gelassen worden, an welche eine Poggendorff'sche Blechklemme [1] angeklemmt werden konnte, um die Verbindung mit der anderen Platte zu vermitteln. Da die Platinplatten jetzt bis auf den Grund der Rinne tauchten, so geschah die Ableitung nunmehr in der ganzen Breite der Flüssigkeitsschicht (S. oben S. 598). Das Verfahren bei den Versuchen blieb im Wesentlichen dasselbe; nur dafs, bei der jetzt erleichterten Handhabung der Erregerplatten, diese vor jedem neuen Versuche aus der Flüssigkeit entfernt und zur Herstellung ihrer Kraft abgetrocknet wurden. In einzelnen Fällen wurden die ableitenden Platten sogleich geschlossen vor der einen Erregerplatte aufgestellt, die sich allein in der Rinne befand, und der Ausschlag beobachtet, den das Eintauchen der anderen Erregerplatte hervorbrachte, wobei, der wegfallenden Schwächung durch die Polarisation des Kupfers halber, die Wirkungen begreiflich sehr verstärkt erschienen. Dafs auf die Gleichartigkeit der ableitenden Platinplatten, ihre Polarisation u. s. w. fort und fort die strengste Rücksicht genommen wurde, bedarf wohl keiner Erwähnung mehr. Die Stellen, an denen die beiden Ableitungsplatten vor dem Zink allein und vor dem Kupfer allein, eingetaucht wurden, blieben in allen Versuchen, wo die Anordnung die eben beschriebene war, dieselben; nämlich 50$^{mm}$ beiderseits von der Mitte der Erregerplatte entfernt. An den beiden mittleren, von der Zinkkupfergrenze nämlich gerade auch um 50$^{mm}$ entfernten dieser Stellen befanden sich, bei gleicher Spannweite, die Platten, wenn der Strom vor Zink und Kupfer zugleich abgeleitet werden sollte: in dieser Lage zeigt sie die Figur.

Vor allen Dingen suchte ich mich zu überzeugen, ob die Ungleich-

[1] S. Annalen u. s. w. 1840. Bd. XLIX. S. 39.

heit der Wirkungen vor dem Kupfer und vor dem Zink von irgend einem in den Verhältnissen der Nebenleitung begründeten, von der Theorie übersehenen Umstande abhängig sei, oder ob wirklich der Strömungsvorgang vor dem Kupfer den Strömungsvorgang vor dem Zink in der Flüssigkeit an Stärke übertreffe. Man könnte sich, um der ersteren Vermuthung einen Gehalt zu verleihen, z. B. vorstellen, dafs der Bogen, wenn er mit seinem den Strom aufnehmenden Fufspunkte an eine viel schwächere Stelle des Stromes angelegt sei, als mit seinem ihn wieder abgebenden, wie dies über dem Zink stattfindet, einen geringeren Strom führen müsse, als in dem umgekehrten Falle. Dies zu ermitteln, gab es zunächst folgenden, eben so sicheren, als einfachen Versuch: statt des Multiplicatorbogens nämlich mit seinen Platinenden, den Nerven des stromprüfenden Froschschenkels, welcher, damit Wirkung stattfinde, keine wahre, in einer Strecke ihrer Ausdehnung vom Hauptleiter isolirte Nebenschliefsung zu bilden braucht, an die Flüssigkeitsschicht anzulegen. Dies Anlegen mufste schnell, und möglichst der Längenaxe der Vorrichtung parallel ausgeführt werden können: weshalb folgende Vorkehrung getroffen wurde. Die Rinne war 20$^{mm}$ hoch mit Brunnenwasser gefüllt, das flache Erregerpaar amalgamirtes Zink und Kupfer. Ein Fliefspapierbausch, von der nämlichen Art, wie die an meinen Zuleitungsgefäfsen, und von der Gestalt des Schliefsungsbausches, war sattelförmig mit seinen beiden schmalen Seiten nach unten umgebogen und in die Rinne gepreſst, in der er bald vor das Kupfer, bald vor das Zink geschoben wurde, und alsdann, etwas über die Oberfläche des feuchten Leiters vorragend, ein geeignetes Polster darbot, gegen welches der Nerv des stromprüfenden Schenkels in der bekannten Weise geschnellt oder geschleudert werden konnte (S. oben S. 264).

Der Erfolg war nun in der That die fast völlige Stromlosigkeit der Flüssigkeitsstrecke vor dem Zink. Hier zuckte der Schenkel fast nie, und nur bei absteigender Richtung des Stromes in dem Nerven; vor dem Kupfer hingegen mit grofser Leichtigkeit; mit noch gröfserer begreiflich, wenn der Bausch vor der Zinkkupfergrenze stand. Viel deutlichere Wirkungen wurden erhalten, wenn statt eines Bausches, zwei in einiger Entfernung von einander befindliche angewandt wurden, deren einen ein Galvani'sches Präparat mit den Füfsen, den anderen mit dem anhängenden Stücke Wirbelsäule berührte. Hier erfolgte, wenn beide Bäusche vor dem Zink waren, nur selten und dann äufserst schwache Zuckung; vor dem Kupfer, und vor Zink und Kupfer Tetanus. Allein in diesem Falle ist wieder eine ächte Nebenschliefsung vorhanden, und der Versuch deshalb minder vorwurfsfrei als in der erste-

ren Gestalt. Ich suchte dasselbe Ergebnifs auch dadurch zu bestätigen, dafs ich eine äufserst empfindliche Doppelnadel von grofsem Abstande zwischen den Nadeln in luftdichtem Verschlusse über dem flachen Erregerpaare von 110$^{mm}$ Breite, welches den ganzen Boden des Troges einnimmt (S. oben S. 597), aufhing und ihre Stellung sowohl als ihre Schwingungsdauer, die erste bei dem Meridiane paralleler, die zweite bei darauf senkrechter Längenaxe der Vorrichtung, beobachtete, während bald eine Schicht feuchten Leiters im Troge die Kette schlofs, bald das Erregerpaar trocken lag; allein ich vermochte keine Veränderung wahrzunehmen, selbst wenn, bei verdünnter Schwefelsäure zur Flüssigkeit, wo an der Zinkkupfergrenze die heftigste Gasentbindung stattfand, die verlängerte Drehungsaxe der Nadel diese Grenze traf, geschweige denn einen Unterschied über Zink und über Kupfer allein.

Es ist also wirklich der Strömungsvorgang vor dem Kupfer aufserordentlich viel stärker als vor dem Zink, und der obige Erfolg hat mit den eigenthümlichen Umständen, unter denen hier der abgeleitete Stromarm gewonnen ist, nichts zu schaffen. Ich mufs gestehen, dafs ich vor dieser Antwort des Versuches damals zunächst völlig rathlos dastand, und ich gebe jetzt die Beschreibung der Versuchsreihe, in die ich mich, gegen meine Gewohnheit, und mit Widerstreben, ohne einen anderen Plan einliefs, als den, die Bedingungen der Erscheinung auf jede mir zu Gebote stehende Art so lange und vielfältig abzuändern, bis sich mir dadurch irgend ein Weg zu ihrem Verständnisse dargeboten haben würde.

Ich fing damit an, die Flüssigkeit in der Rinne mit anderen zu vertauschen. Die folgende Tafel enthält die Ergebnisse dieser Versuchsreihe, grofsentheils in Mittelzahlen aus vielen einzelnen Erfahrungen; die Bezeichnungsweise ist dieselbe wie oben S. 600.

| | Flüssigkeiten. | Z | | ZK | | K | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | A | B | A | B |
| I. | Destillirtes Wasser | 18° | 0° | 90°° | 60° | 70° | 8° |
| II. | Brunnenwasser | 12 | 0 | 90° | 19 | 90° | 13 |
| III. | Englische Schwefelsäure zu Brunnenwasser wie 1 : 10 dem Volum nach | 54 | 12 | 90° | 45 | 69 | 17 |
| IV. | Käufliche Salpetersäure zu Brunnenwasser wie 1 : 10 dem Volum nach | 38 | 10 | 90° | 34 | 90° | 23 |
| V. | Dieselben im Verhältnifs von 1 : 4 dem Volum nach | 25 | 8 | 90° | 44 | 90° | 32 |
| VI. | (Rauchende) Salpetersäure, welche schon häufig in der Platinzelle Grove'scher Ketten gedient, ein blafsgrünes Ansehen hatte und nicht mehr merklich rauchte | 90° | 79 | 90° | 90 | 90° | 90 |
| VII. | Chlorwasserstoffsäure (Ac. mur. pur.) zu Brunnenwasser wie 3.25 : 1 dem Volum nach | 68 | 8 / 19 | 90° | 42 | 90° | 22 |
| VIII. | Gesättigte Kalihydratlösung zu destillirtem Wasser wie 8 : 3 dem Volum nach | 22 | 11 | 60 | 29 | 28 | 22 |
| IX. | Gesättigte Kochsalzlösung | 10 | 0 | 18 | 5 | 18 | 3 |
| X. | Gesättigte schwefelsaure Kupferoxydlösung | 90° | ± 90 | 90° | 90 | 90° | 80 |
| XI. | Dieselbe zu destillirtem Wasser wie 1 : 1.5 dem Volum nach | 90° | 58 | 90° | 90 | 90° | 61 |

Die Mafse der Flüssigkeitsschicht, der ableitenden und der Erregerplatten, wie die Natur der letzteren, waren bei allen diesen Versuchen dieselben, bereits angegebenen. Ein Vergleich der ersten und zweiten mit der fünften und sechsten Zahlenreihe der Tabelle zeigt, dafs bei allen Flüssigkeiten, wenn auch in sehr verschiedenem Grade, dasselbe räthselhafte Verhalten sich vorfindet. Allerdings zeigt es sich am entschiedensten bei derjenigen, die uns der Zufall bei unserem ersten Versuche in die Hände spielte, dem Brunnenwasser nämlich. Wir sehen jetzt, dafs sicher auch vor dem Zink ein merklicher Strömungsvorgang vorhanden ist, nur dafs er unter Umständen zu einer fast zweifelhaften

Spur, wie in jenem ersten Falle, herabsinken kann. Worin nun die Umstände bestehen, die diese Unterdrückung herbeiführen, darüber läfst uns die vorliegende Versuchsreihe noch sehr im Dunkeln. Die einzige dürftige Andeutung, die sich daraus entnehmen läfst, liegt in dem Verhalten der rauchenden Salpetersäure und der verdünnten schwefelsauren Kupferoxydlösung. In beiden fällt der Unterschied zwischen den abgeleiteten Strömen vor dem Zink und vor dem Kupfer am geringsten aus. Ich wufste aber zur Zeit diese Spur nicht zu benutzen, und sah mich nach anderen Veränderungen um, die ich mit meinen Anordnungen vornehmen könnte. Zuvor bemerke ich noch, dafs, bei Anwendung der Chlorwasserstoffsäure, die Multiplicatornadel vor dem Zink nicht zur Ruhe kam, sondern beständig zwischen den im Mittel angegebenen Grenzen auf- und niederschwankte. Ein Gleiches zeigte die gesättigte schwefelsaure Kupferoxydlösung. Hier waren die Grenzen der unablässigen heftigen Schwankungen allein die beiden Hemmungen, von deren einen zur anderen die Nadel immerwährend durch den Nullpunkt durchschlug, während doch die Nadel des in den Kreis der Erregerplatten, die in der Flüssigkeit durch ein Glimmerblatt getrennt waren, eingeschalteten Multiplicators mit kurzem Draht (S. oben S. 203) unbewegt auf 80° stehen blieb.

Ich machte mich nun daran, die Mafse des feuchten Leiters zu verändern. Die Tiefe der Flüssigkeitsschicht in der Rinne, oder die Breite des benetzten Streifens der Erregerplatten, zeigte sich, wenigstens bei Brunnenwasser, von keinem wesentlichen Einflusse auf die Erscheinung. Die Abweichung zwischen dem Ergebnisse des Versuches (II) in der letzten Tabelle und des in der Tabelle S. 600 verzeichneten ist wohl mehr dem Umstande zuzuschreiben, dafs in dem ersteren die ableitenden Platten den Querschnitt der Flüssigkeitsschicht fast ganz, in dem letzteren bei Weitem nicht ausfüllten, zum geringeren Theile wohl nur der verschiedenen Breite der benetzten Erregerfläche in beiden Fällen.

Hier ist der Ort, eines sehr auffallenden Erfolges zu gedenken, den ich, bei Anstellung dieser Versuche mit Schwefelsäure auf der oben angegebenen Stufe der Verdünnung, viele Male in ganz übereinstimmender Weise beobachtete, ohne dafs es mir jedoch gelungen wäre, denselben nach Willkür jedesmal bei Herstellung der nämlichen Umstände hervorzurufen. Das oben in der Tabelle unter (III) dargelegte Ergebnifs nämlich ist zwar unstreitig als das gesetzmäfsige zu betrachten. Es ist mir jedoch auch begegnet, dafs der Strom vor dem Zinke nicht nur demjenigen vor dem Kupfer an Gröfse gleichkam, sondern dafs er ihn sogar um ein Merkliches übertraf; ein Verhalten, welches, wie man sieht, ganz das entgegengesetzte ist von dem, welches hier zuerst unsere

Aufmerksamkeit rege machte und uns in diese Untersuchung verflocht. Folgende Zahlenwerthe sind die Mittel aus acht Versuchen, deren Abweichungen unter einander so gering ausfielen, als es bei dergleichen Anordnungen nur immer erwartet werden kann.

| *Z* | | *ZK* | | *K* | |
|---|---|---|---|---|---|
| *A* | *B* | *A* | *B* | *A* | *B* |
| 29° | 10° | 80° | 22° | 27° | 8° |

Die Tiefe der Flüssigkeitsschicht in der Rinne betrug dabei 10$^{mm}$, die Breite der Rinne 60$^{mm}$ (S. unten). Die geringere Gröfse der ersteren Ausmessung scheint dabei eine Hauptrolle zu spielen, weshalb ich diese Stelle gewählt habe, um dieser neuen Verwickelung, an die wir uns übrigens nicht weiter kehren wollen, Erwähnung zu thun. Ich bin geneigt zu glauben, dafs der Grund derselben ganz einfach in der Berührung zu suchen ist, in welche die der Zinkkupfergrenze nähere Ableitungsplatte mit dem am Kupfer entwickelten Wasserstoffe kam. Hiedurch würde ein Strom in dem Bogen von der anderen Platte zu dieser gesetzt sein, der auf den sonst in demselben in umgekehrter Richtung kreisenden abgeleiteten Stromarm schwächend einzuwirken nicht umhin könnte. Nichtsdestoweniger mufs ich gestehen, dafs ich nicht vermag, diese Vermuthung mit den Umständen des Versuches in einen klaren Zusammenhang zu bringen; ja ich kenne dieselben nicht einmal genau genug, um mit Bestimmtheit zu sagen, ob die gröfsere Breite der Rinne dabei eine unerläfsliche Bedingung abgebe oder nicht. Dafs dieselbe indefs, ebenso wie die Entfernung von den Erregerplatten, in der sich die ableitenden Platten in dem sie enthaltenden Querschnitte der Flüssigkeitsschicht befinden, von keiner geringen Bedeutung in diesem Kreise von Erscheinungen sei, geht aus Folgendem deutlich genug hervor.

Der Versuch wurde mit Brunnenwasser, amalgamirtem Zink und Kupfer angestellt, indem die drei 25$^{mm}$ breiten Holzstäbe, wodurch der Trog zur Rinne eingeengt war, Stück für Stück ausgebrochen wurden, bis zuletzt der leere Trog, wie in den allerersten Versuchen S. 597, nur mit dem Unterschiede übrig blieb, dafs das flache Erregerpaar nicht seinen Boden, sondern seine eine lange Seitenwand bekleidete. Die Tiefe der Flüssigkeit im Troge wurde dabei nach Entfernung eines jeden Stabes durch Zugiefsen auf ihre ursprüngliche Höhe zurückgebracht. Die folgende Tafel giebt ein Bild dieser Versuchsreihe. Die Abtheilun-

gen I, II, III, IV beziehen sich auf die erreichte Dicke der Flüssigkeitsschicht über dem Erregerpaar, oder die wachsende Breite der Rinne. Den Erfolg für die 35$^{mm}$ breite Rinne (I) kannten wir bereits; es ist nur eine Verschiebung der ableitenden Platten in ihrer Querebene um wenige Millimeter dabei möglich, deren Einfluſs unmerklich ausfällt. Bei II ist die Rinne um 25$^{mm}$, bei III um 50$^{mm}$, bei IV um 75$^{mm}$ verbreitert, indem jedesmal ein 25$^{mm}$ breiter Holzstab aus dem Troge entfernt wurde; sie ist also im ersten Falle 60$^{mm}$, im zweiten 85$^{mm}$, im dritten 110$^{mm}$ breit. Die Unterabtheilungen *a; a, b; a, b, c; a, b, c, d,* bezeichnen dabei die verschiedenen Stellen der Ableitungsplatten in ihrer Querebene. Für *a* ist die Stellung der Platten stets die ursprüngliche wie bei 35$^{mm}$ breiter Rinne; für *b, c, d* wächst ihr Abstand jedesmal um die 25$^{mm}$ betragende Breite des Platins, so daſs mit *d* die dem Erregerpaare gegenüberstehende Seitenwand des Troges erreicht ist. Auf diese Weise muſste es gelingen, ein Bild von der Vertheilung des Strömungsvorganges in dem feuchten Leiter, entsprechend dem Fig. 53 schematisch hingestellten, und von den Veränderungen zu gewinnen, welche daran theils durch den noch unbekannten Umstand, von dem die Ungleichheit der Stromstärke vor dem positiven und negativen Metall herrührt, theils durch die wechselnde Breite selbst des Troges bedingt werden.

| | | Z | | ZK | | K | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | A | B | A | B |
| I. | a | 12° | 0° | 90°° | 19° | 90°° | 13° |
| II. | a | 13 | 1 | 90° | 14 | 90° | 10 |
| | b | 30 | 2 | 90° | 12 | 90° | 9 |
| III. | a | 18 | 3 | 90° | 12 | 90° | 12 |
| | b | 33 | 3.5 | 90° | 9 | 90° | 10 |
| | c | 39 | 4 | 90° | 8 | 90° | 9 |
| IV. | a | 17 | 3 | 90° | 8 | 90° | 6.5 |
| | b | 31 | 3.5 | 90° | 8 | 87 | 6.2 |
| | c | 40 | 3.5 | 90° | 6 | 82 | 6 |
| | d | 45 | 4 | 90° | 5 | 80 | 5.5 |

Die Betrachtung dieser Tabelle lehrt Folgendes: Während, bei wachsender Breite des Troges, die Stärke des abgeleiteten Armes vor dem Kupfer und vor dem Kupfer und Zink zugleich im Abnehmen begriffen ist, wächst dieselbe vor dem Zink. Ferner, während, bei einer und derselben Breite des Troges, beim Entfernen der ableitenden von den erregenden Platten in ihrer Querebene, die Stärke des abgeleiteten Stromarmes vor dem Kupfer und vor dem Kupfer und Zink zugleich abnimmt, ist sie auch hier vor dem Zink allein ganz im Gegentheil im Wachsen begriffen, so dafs man sieht, wie, bei noch gröfserer Breite des Troges, wohl gar ein Punkt hätte erreicht werden können, wo sie der vor dem Kupfer gleichgekommen wäre.

Hieraus nun, im Verein mit den vorigen Erfahrungen an verschiedenen Flüssigkeiten, scheint allerdings zu folgen, dafs die Theorie der

flachen Erregerpaare, wie sie vorher aufgestellt wurde, richtig sein mag; dafs vor dem Zinke ein Strom von gleicher Stärke wie vor dem Kupfer vorhanden sein und abgeleitet werden kann; dafs derselbe aber in den meisten Fällen durch einen Umstand verdeckt wird, dessen Wirksamkeit sich, bei einiger Breite der Flüssigkeitsschicht, mit der Entfernung vom Zink jedoch mehr und mehr schwächt. Es scheint ferner natürlich, in diesem Umstande einen Gegenstrom zu sehen, der, der Oberfläche des Zinkes entlang, in der Richtung von dem Kupfer nach dem Zink verläuft, bei einiger Breite des Troges indefs stets in flacheren Curven als der ursprüngliche Strom vom Zink zum Kupfer in der entgegengesetzten Richtung. Somit scheint drittens unser nächster Zweck, Befreundung mit den bei den flachen Erregerpaaren vorkommenden Umständen und Bestätigung des Punktes unserer Theorie derselben, welcher sich auf die Symmetrie der Curve $Y = F(\Delta)$ zur Zinkkupfergrenze bezieht, innerhalb der möglichen Grenzen der Genauigkeit, bereits erreicht, und die Kenntnifs der Quelle jenes Gegenstromes könnte uns fortan gleichgültig sein. Nichtsdestoweniger ist es von Wichtigkeit, zu ermitteln, inwiefern die Gegenwart eines solchen Gegenstromes nur an eine Eigenthümlichkeit unserer künstlichen, aus Metallen und feuchten Leitern zusammengesetzten Elektromotore geknüpft sei, oder ob sie auch bei den nur aus den letzteren bestehenden natürlichen thierischen Erregern vorausgesetzt werden müsse. Hiezu bedürfen wir der Einsicht in den Ursprung des besagten Gegenstromes, den zu entdecken mir selbst jedoch nicht gelang.

Mehrere andere Versuchsreihen, die ich anstellte, um Umstände zu ermitteln, durch deren Einflufs auf die fragliche Erscheinung ich zu dieser Einsicht geleitet werden könnte, blieben fruchtlos. Zuerst glaubte ich einmal mit den Metallen der erregenden Platten wechseln zu müssen. Allein Zink, Zinn, Eisen, statt des amalgamirten Zinkes derselben angewandt, zeigten keine Abweichung von diesem, ausgenommen in der Gröfse der Wirkungen überhaupt, gemäfs ihrer Stellung in der Spannungsreihe. Das Nämliche fand sich für Kupferelektroden einer Grove'schen Kette, und auch, was bemerkenswerth ist, für dieselben Elektroden, wenn sie, durch rasche Schliefsung zur secundären Kette mit Ausschlufs der primären, vermöge ihrer Polarisation in entgegengesetzter Richtung wie diese elektromotorisch wirkten. Allerdings fiel hier die Verschiedenheit der abgeleiteten Ströme von der positiven und der negativen Platte nur gering aus.

Ferner versuchte ich die Anwendung verschiedener Metalle statt des Platins als Ableitungsplatten, wobei ich namentlich im Auge hatte, dieselben eben so positiv oder noch positiver als das positive Metall

des Erregerpaares zu nehmen. Allein Kupfer-Eisen, Kupferzinn, Kupferzink und Kupfer-Amalgamirt Zink als Elektromotor gaben mit Zink und amalgamirtem Zink als Ableiter, so weit es die ungeheuren hier stattfindenden Ungleichartigkeiten zu beurtheilen erlaubten, hinsichtlich der vergleichweisen Stromstärke vor dem positiven und negativen Metall stets denselben Erfolg als mit den negativeren Ableitern; wie dies auch nach dem obigen Versuche mit dem Froschschenkel nicht anders erwartet werden kann. Ich gedenke dieser, übrigens vor jenem Versuche angestellten Beobachtungen hier nur, weil sich mir dabei fortwährend der so räthselhafte Umstand einer dem ursprünglichen Strome gleich-, dem gewöhnlichen secundären Strome also entgegengesetzt gerichteten Polarisation jener positiven Ableiter kund gab (S. oben S. 236).

Gleichgültig erwies sich sodann in Betreff der Ungleichheit des Stromes vor Zink und Kupfer, die unbedingte sowohl als die vergleichweise Länge der angewandten Erregerplatten, von denen ich jede in Verhältnifs zur anderen wie 1 : 2 und wie 3 : 8 schwanken liefs; ferner ob Kupfer und Zink in der Mittelquerebene des Troges sich dicht aneinander befanden, oder ob eine Lücke von der doppelten bis 3 ½fachen Länge einer jeden Erregerplatte zwischen ihren Rändern gelassen wurde, gleichviel dabei, ob die Länge beider Platten eine und dieselbe war oder auch hier in dem angegebenen Verhältnifs wechselte. Der Unterschied der Wirkungen verkleinerte sich zwar, indem der Strom vor dem Zink ziemlich gleiche Gröfse behielt, während der vor dem Kupfer bedeutend sank; indefs kein brauchbarer Fingerzeig wollte sich ergeben. Ebenso unfruchtbar blieb in dieser Hinsicht, was theoretisch zu gewärtigen war, der Versuch, ob die Stellen der Erregerplatten, zwischen welchen die metallische Verbindung derselben vermittelt wurde, einen Einfluſs auf die Erscheinung äufserten. Dieser Umstand zeigte sich, für die hier erreichbare Grenze der Genauigkeit, durchaus gleichgültig. Der räthselhafte Unterschied bestand endlich fort und fort, auch wenn die Rinne an der Zinkkupfergrenze rechtwinklich eingeknickt wurde, so dafs sie zwei aneinanderstofsende Seiten der oben als Schema vielbesprochenen viereckten Rinne verwirklichte, gleichviel, ob dabei die Metalle die den einspringenden oder die den ausspringenden Winkel der Rinne bildende Wand derselben bekleideten, d. h. also, ob ihre Flächen miteinander einen Winkel von 90° oder 270° machten. Nur dafs hier die Wirkung vor dem Zink etwas an Stärke zugenommen zu haben schien, woraus sich indefs abermals gar nichts folgern liefs.

Ich merkte wohl, indem ich dergestalt in unwesentlichen Abänderungen des Versuchs umherirrte, dafs ich mich, anstatt näher an den Kern der Erscheinung zu rühren, vielmehr wieder von demselben ent-

fernt hatte. In dieser Verlegenheit wandte ich mich an den Erfahrensten im Gebiete des Galvanismus, Herrn Prof. Poggendorff, welcher sehr bald den Sinn des Phänomenes erfafste. Er äufserte, der Zustand der Zinkstrecke möge der natürliche sein, der der Kupferstrecke jenem ursprünglich entsprechende lasse aber deshalb einen Unterschied wahrnehmen, weil, vermöge der ungleichen Stärke der partiellen Ströme auf den verschiedenen Punkten der Länge des Kupfers, ungleich starke Polarisation, d. h. Belegung mit Wasserstoff desselben stattfinde. Stark polarisirte negative Elektroden verhalten sich aber positiv gegen schwächer polarisirte, weshalb hier der schwache ursprüngliche Strom längs der Kupferstrecke um den Strom zwischen den der Zinkkupfergrenze näheren stark polarisirten und den davon entfernteren schwach polarisirten Theilen vermehrt erscheint. Vor dem Zinke dagegen, oder vor der positiven Elektrode im Allgemeinen, sofern dieselbe nicht aus einem der schwer oxydirbaren Metalle besteht, findet nichts Aehnliches statt, weil hier der Sauerstoff durch die Oxydation gebunden wird.

Mit dieser Idee ausgerüstet, ging ich nun von Neuem ans Werk. Ein Vergleich des schon Erfahrenen mit derselben lieferte ziemlich günstige Ergebnisse. So war das Verhalten bei Anwendung von rauchender Salpetersäure und verdünnter schwefelsaurer Kupferoxydlösung, in welchen beiden die Polarisation äufserst geschmälert ist, erklärt. Nur schien es nothwendig, Poggendorff's Ansicht dergestalt abzuändern, dafs dabei das Dasein eines Gegenstromes vor dem Zink mit in Betracht gezogen würde, der nach den ihm unbekannt gebliebenen Versuchen über den Einfluſs wachsender Breiten der Rinne nicht wohl zu verkennen ist. Für die Deutung dieses Gegenstromes aber gab es jetzt eine sehr nahe liegende Annahme.

Denkt man sich nämlich die ursprüngliche elektromotorische Wirkung zwischen Zink und Kupfer als gar nicht vorhanden, dagegen die secundäre der verschieden stark polarisirten Theile des letzteren Metalles als allein im Spiele, so sieht man ein, könnte man an die Stelle dieses, mit ungefähr demselben Erfolge, wiederum ein flaches Erregerpaar von der halben Länge des wirklich vorhandenen setzen, welches blos die Kupferstrecke einnähme, und an dem die Anordnung der Metalle derjenigen an dem ursprünglichen entspräche, so dafs das Zink daran an die Zinkkupfergrenze jenes stiefse. Diese Bemerkung hat nur zum Zweck, die schwierige Vertheilung der Ungleichartigkeiten, welche an dem in seiner Längenausdehnung verschieden polarisirten Kupfer stattfindet, durch eine einfachere und in ihren elektromotorischen Folgen schneller übersehbare zu ersetzen; man könnte sich ebensowohl vorstellen, dafs nur die eine, der Zinkkupfergrenze nähere Hälfte des

Kupfers mit Wasserstoff belegt worden, die andere davon völlig frei geblieben wäre. Gleichviel wie man sich dieses denke, läfst man die Wirkung der ursprünglichen Kette aufser Acht, und betrachtet nur diejenige der an dem Kupfer haftenden Wasserstoffkette, so ist klar, dafs nicht blos ein Strom geradesweges durch die Flüssigkeit von der positiven Hälfte des Kupfers zur negativen gehen wird; sondern den oben dargelegten Gesetzen der Ausbreitung von Strömen in unregelmäfsig gestalteten Leitern gemäfs werden sich von der positiven Hälfte aus auch Stromescurven durch den Trog an der Zinkstrecke des ursprünglichen Erregerpaares vorbei, um das Zink desselben herum und der dem Erregerpaare gegenüberliegenden Wand des Troges entlang nach der negativen Hälfte begeben. Solche Stromescurven werden aber auch die Folge der wirklichen Vertheilung des Wasserstoffes am Kupfer sein müssen; sie müssen fort und fort bestehen, auch wenn man jetzt in Gedanken die ursprüngliche Kette wieder in Thätigkeit gerathen läfst: sie werden sich alsdann mit dem Strömungsvorgange des flachen Erregerpaares an und für sich, wie wir ihn oben S. 575 ff. zergliedert haben, zusammensetzen, ihn vergröfsern, wo sie ihm gleich, ihn verkleinern, wo sie ihm entgegengesetzt gerichtet sind, und sie sind es, die wir, in dem einen Theile ihres Laufes, vor dem Zinke vorbei, als den an dieser Stelle vermutheten Gegenstrom einstweilen ansprechen können.

Ist diese Vorstellungsweise von dem Hergange die richtige, so mufs also, wenn man die primäre Kette öffnet, und unmittelbar nachher erst die Ableitungsplatten vor dem Kupfer eintaucht, hier noch ein Strom in gleicher Richtung wie vorher erfolgen, obschon der ursprüngliche Strömungsvorgang nicht mehr besteht, weil die Polarisation des Kupfers zu ihrer Ausgleichung einer beträchtlichen Zeit bedarf. Vor dem Zink dagegen mufs sich alsdann ein Strom in umgekehrter Richtung des ursprünglichen, nämlich der reine Gegenstrom, zu erkennen geben; es ist in Wirklichkeit der Fall, der so eben nur beispielsweise vorausgesetzt wurde, um die Entstehung der Strömungscurven, auf denen dieser Strom beruht, leichter einsichtlich zu machen.

Diese Vermuthungen haben sich einigermafsen bestätigt. Die Wirkung vor dem Kupfer, nach Oeffnen der Kette, betrug bei einem Erregerpaar aus Kupfer und amalgamirtem Zinke nach beziehlich 15″; 30″; 1′; 5′ Schliefsung 9°; 9°; 13°; 15° Ausschlag in der durch die Theorie geforderten Richtung.

Der Untersuchung der Zinkstrecke nach Oeffnung der Kette stellten sich noch besondere Schwierigkeiten entgegen. Auch wenn dieselbe nicht geschlossen gewesen war, erfolgten hier nämlich kleine Ausschläge bald in diesem, bald in jenem Sinne, wenn entweder die Ableitungsplatten davor

eingetaucht, oder umgekehrt das Zink vor denselben versenkt, oder endlich beide in der Flüssigkeit gegeneinander verschoben wurden. Der Ursprung dieser neuen Unregelmäfsigkeit liegt wohl in den durch JÄGER entdeckten Ungleichartigkeiten der scheinbar gleichartigsten Oberfläche gewisser Metalle.[1] Er lehrte dieselben dadurch nachweisen, dafs man feuchte Reagenzpapiere über die zu prüfende Fläche breitet, wo sich dann die positiven und negativen Stellen in entsprechender Weise abbilden. Ich habe, nach JÄGER's Vorschrift, dergestalt auf veilchenblauem, mit destillirtem Wasser getränktem Lackmuspapier die schönsten wolkigen oder marmorirten Zeichnungen von Zink und amalgamirtem Zink erhalten. Bei Zink war der Grund blau geblieben, die rothen, dunkler gesäumten Flecke entsprachen den angegriffenen Stellen der Oberfläche. Bei amalgamirtem Zink hingegen bildete das Rothe den Grund. Eisen bläuete durchgehends, mit einzelnen rostfarbenen Flecken. Kupfer und Zinn liefsen das Pigment unverändert, und brachten auch am Multiplicator unter den bezeichneten Umständen nur selten spurweise Wirkung hervor.

Auf diese Weise ist begreiflich auf die geringen Ausschläge, die man nach Oeffnen der Kette noch vor dem Zink erhalten kann, nicht viel zu geben. Jedenfalls mufs man sich, vor Anstellung des Versuchs, möglichst genau von der Gröfse und dem Sinne der Wirkungen unterrichten, die von den Ungleichartigkeiten des Zinkes an und für sich herrühren. Indem ich dergestalt verfuhr, glaube ich mich allerdings überzeugt zu haben, dafs man, vor dem Zink, nach Oeffnen der Kette, den vom Kupfer ausgehenden Gegenstrom wirklich in geringem Mafse vorfindet. Ein Kupferzinnerregerpaar, wo, vor dem Zinn, wie bemerkt, selbständige Strömungen wenig zu fürchten sind, zeigte sich in seinen elektromotorischen Leistungen leider zu schwach, um hier mit Vortheil angewendet werden zu können. Um daher diese Wirkung noch frei von allem Verdachte und wo möglich auch in gröfserem Mafsstabe erfolgen zu sehen, nahm ich meine Zuflucht zu den Kupferelektroden einer GROVE'schen Kette, welche, wie wir bereits wissen, als flaches Erregerpaar zusammengestellt, die Erscheinung der Ungleichheit des Stromes vor der positiven und negativen Platte auf das Entschiedenste zeigen. Allein es trat eine neue Verwickelung dazwischen; vor der negativen Elektrode zwar erhielt ich nach minutenlanger Schliefsung der Kette nicht weniger als 65° Ausschlag in der ursprünglichen Richtung, wie es sein sollte, vor der positiven aber 2.5° in derselben, statt in der

[1] GILBERT's Annalen der Physik. 1802. Bd. XI. S. 288. — Vergl. FECHNER's Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie u. s. w. S. 422. — S. auch oben S. 141.

entgegengesetzten Richtung. Dies läfst sich so deuten, dafs, durch die Wirkung des Stromes, die der Grenze der Elektroden näheren Theile des Kupfers der positiven Platte negativ gegen die davon entfernteren geworden waren; sei's, was nicht wohl denkbar ist, durch Sauerstoffpolarisation, sei's, was das Wahrscheinlichere, durch vorwiegende Oxydation, wodurch die meisten Metalle negativer erscheinen. [1]

Ich mufste also darauf verzichten, den von den verschieden polarisirten Theilen der Wasserstoffplatte ausgehenden Gegenstrom, mit der Sicherheit, wie ich gewollt hätte, nach Oeffnen der Kette aber bei dauernder Anwesenheit der positiven Platte, vor dieser nachzuweisen. Was diesen Nachweis nach Entfernung derselben betrifft, so bietet er keine Schwierigkeit mehr dar; man erhält bei den Elektroden der Grove'schen Kette 10—12° Ausschlag in dem erwünschten Sinne, bei einem Zinkkupfererregerpaare freilich noch beträchtlich weniger, nur etwa 3—4°.

Das Dasein von Stromescurven, wie wir sie in der Flüssigkeit zur Erklärung des Gegenstromes vorausgesetzt haben, ist also hiedurch wohl als thatsächlich erwiesen zu betrachten, und wir können der obigen Annahme bis auf Weiteres gewifs unser Zutrauen schenken. Ich bin weit entfernt zu glauben, dafs, mit diesen wenigen Versuchen und Betrachtungen, der so schwierige Gegenstand bereits völlig erschöpft und abgethan sei. Vielmehr liegen der Dunkelheiten und Bedenken noch eine ansehnliche Menge auf der Hand, von denen an dieser Stelle z. B. nur des oben S. 605 beschriebenen räthselhaften Verhaltens bei Anwendung verdünnter Schwefelsäure als feuchten Leiters gedacht werden mag. Wie dem auch sei, jetzt dürfen wir es, für unseren Zweck, bei dem Blicke, den wir in dieses Gebiet voll unerwarteter Verwickelung gethan, bewenden lassen. Dafs durch Poggendorff's Deutungsweise hier im Ganzen und Allgemeinen das Rechte getroffen sei, wird Niemand bezweifeln wollen; uns aber genügt es einestheils, die bei der Untersuchung der flachen Erregerpaare vorkommenden Umstände erkannt zu haben, anderntheils mit hinreichender Sicherheit zu wissen, dafs die Abweichungen von unserer oben gegebenen Theorie, die sich in der Wirklichkeit kund geben, allein auf jenen secundären Wirkungen der elektrolytischen Stoffe zu beruhen scheinen, welche, wenigstens bei so schwachen Strömen wie der Muskelstrom, an den thierischen Erregern vermifst werden.

Man sieht übrigens, wenn ich nicht irre, jetzt deutlich ein, von welchem Nutzen uns die voraufgeschickte theoretische Untersuchung, wie unvollkommen sie auch bleiben mufste, schliefslich gewesen ist.

[1] Vergl. Fechner a. a. O. S. 116.

Ohne dieselbe angestellt zu haben, würden wir durch die Polarisationserscheinungen leicht verführt worden sein, eine ursprüngliche Asymmetrie der Curve der Stromstärken in dem Bogen um die Zinkkupfergrenze anzunehmen, was, wie unschwer zu ermessen, in allen unseren späteren Schlüssen und Betrachtungen die mifslichste Verwirrung angestiftet haben würde. Vergl. oben S. 588.

(iii) Fernere Untersuchung der flachen Erregerpaare und Uebergangsformen zum cylindrischen Muskelschema.

Nach Beseitigung dieses Aufenthaltes wollen wir nun erst, so gut es die Umstände verstatten, zusehen, inwiefern wir mit unseren sonstigen Vorhersichten in Betreff des Strömungsvorganges an dem flachen Erregerpaare und in dem daran gelegten Bogen nicht in die Irre gegangen sind. Dies kann folgendermafsen in Ausführung gebracht werden. Man wählt eine solche Flüssigkeit und Anordnung des Erregerpaares, dafs der durch die Polarisation des Kupfers bedingte Unterschied des Stromes vor dem Zinke und vor dem Kupfer möglichst klein ausfällt, also z. B. die eben erwähnte, diesen unregelmäfsigen Erfolg gebende mit verdünnter Schwefelsäure, schmaler und tiefer Rinne. Bei beständiger Entfernung der beiden Erregerplatten von einander rückt man mit denselben stets um die nämliche Gröfse und auch sonst in möglichst übereinstimmender Weise von dem einen Ende der Vorrichtung nach dem anderen hin über die Zinkkupfergrenze fort. Aus der Gröfse der Ausschläge, die alsdann in dem einen oder dem anderen Sinne erfolgen, je nachdem man sich dieser Grenze nähert oder sich von derselben entfernt, vermag man die Gröfse der Veränderung zu ermessen, die die Stromstärke in dem Bogen in Folge der Veränderung von $A$ erfahren hat. Ist der Ausschlag ein positiver, so ist es klar, dafs die Stromstärke in dem Bogen zugenommen hat; erscheint er in dem Sinne der Ladungen, so hat sie eine Abnahme erlitten. Sind, beim Verschieben des Bogens um gleiche Gröfsen, positive Ausschläge im Wachsen begriffen, so heifst dies so viel, als dafs die Unterschiede der zweiten Ordnung positiv sind, oder dafs die Curve der Stromstärken gegen die Abscissenaxe convex ist. Findet das Gegentheil statt, so sind die Unterschiede der zweiten Ordnung negativ, die Curve ist concav gegen die genannte Axe. Sind aber, auf der anderen Seite, negative Ausschläge im Abnehmen begriffen, so zeigt dies wieder eine Convexität, sind sie im Zunehmen begriffen, eine Concavität gegen die Axe der Abscissen an. Nach diesen Grundsätzen lassen sich also, wie man sieht, mit Leichtigkeit solche wesentliche Eigenthümlichkeiten einer Curve beurtheilen, als da sind Sinn der Biegung, Wendepunkt, oberer Grenzwerth, welche oben, in unseren Betrachtun-

gen, allein erwogen werden konnten, und an deren Kenntnifs — so äufserst werthvoll uns auch die Möglichkeit genauerer Bestimmungen erscheinen würde — uns an dieser Stelle doch vor Allem gelegen sein mufs.

Es zeigt sich nun in der That, dafs, wie wir es theoretisch zu gewärtigen Grund gefunden hatten, die Curve der Stromstärken in dem Bogen erst allmälig, dann immer steiler und steiler, also stark convex gegen die Abscissenaxe bis zu dem Punkte ansteigt, wo der eine Fufs des Bogens im Begriff ist, die Grenze der ungleichartigen Metalle zu überschreiten. Von hier ab fangen plötzlich die Zuwachse der Stromstärke für gleiche Veränderungen von $\Delta$ abzunehmen an, und werden, wenn sich $\Delta$ der Null, d. h. der Bogen der symmetrischen Stellung über der Mitte der Vorrichtung nähert, ganz unmerklich, so dafs man gewahr wird, der Strom erreiche den an dieser Stelle gelegenen oberen Grenzwerth durch eine Curve, welche von $\Delta = \alpha$ an eine entschiedene Concavität gegen die Abscissenaxe kehrt. Zahlenreihen zum Belege hiefür anzuführen, halte ich für nutzlos wegen der äufserst geringen Genauigkeit der Beobachtungen, die hier allein möglich ist. Noch mehr beeinträchtigt wird dieselbe durch den Umstand, dafs jeder Versuch mit Erschütterung polarisirter Elektroden verbunden ist, was, wie man sich erinnert, eine augenblickliche Erhöhung der elektromotorischen Kraft mit sich bringt (S. oben S. 239). Die Stromstärken sind, wie oben vorhergesehen wurde, um so bedeutender, je gröfser die Spannweite des Bogens; ist $\Delta = 0$, so erhält man also den stärkstmöglichsten Strom, den das flache Erregerpaar durch Ableitung überhaupt nur abzugeben vermag, wenn man $\alpha$ mehr und mehr wachsen läfst; indessen findet sich nicht allzuweit von der Zinkkupfergrenze schon ein Punkt, wo die Zuwachse der Stromstärke für die Zuwachse von $\alpha$ sehr unbedeutend werden; noch weiter verschwinden sie, wie dies auch theoretisch eingesehen werden kann (S. oben S. 593), beinahe völlig.

Nach Beschlufs der Untersuchung an den flachen Erregerpaaren selbst suchen wir uns auch auf dem Wege des Versuches stufenweise der cylindrischen Vorrichtung zu nähern, welche in ihren elektromotorischen Wirkungen dem Muskelbündel entsprechen soll.

Zuerst ersetzte ich in dem ganz offenen, durch keinerlei Füllung eingeengten Troge, wie er S. 597 angewandt wurde, das flache aus zweien gleich langen Platten bestehende Erregerpaar durch ein solches, an dem eine 210$^{mm}$ lange, 105$^{mm}$ breite Zinkplatte an ihren beiden Enden durch 105$^{mm}$ lange und breite Kupferplatten begrenzt war. Ein anderer Erreger hatte bei denselben Mafsen in der Mitte Kupfer, an

den Enden Zink. Der feuchte Leiter war Brunnenwasser. Hier mufste sich der Strömungsvorgang in der Flüssigkeitsschicht gestalten, wie wir ihn oben S. 582 beschrieben, Fig. 55. 56 dargestellt haben. Das zu gewärtigende Gesetz der abgeleiteten Ströme in dem Bogen über der mittleren, beiderseits durch ungleichartiges Metall begrenzten Platte mufste mit demjenigen übereinkommen, welches S. 594 für eine Seite der länglich viereckten Rinne Fig. 57 genehmigt wurde. In der That war nun dieses der Fall. Die Wirkung war Null, wenn die Fufspunkte des Bogens, die ableitenden Platinplatten, sich gleich weit von der mittleren Querebene des Troges, oder von beiden Zinkkupfergrenzen befanden; wurde ihre Stellung asymmetrisch, so entstand, wenn die Platte die positive war, ein schwacher Strom in der Richtung nach der Zinkkupfergrenze; war sie hingegen die negative, so gab sich ein ungleich stärkerer Strom in entgegengesetzter Richtung kund. Für entsprechende Stellungen zu beiden Seiten der mittleren Querebene der Vorrichtung waren die Stärken der abgeleiteten Ströme einander gleich; sie wuchsen in immer rascherem Mafse, bis ein Fufspunkt des Bogens die Zinkkupfergrenze überschritt, von wo ab bis zu ungefähr symmetrischer Stellung der Fufspunkte zu dieser Grenze, die das Maximum gab, die Zuwachse wiederum langsamer und langsamer erfolgten u. s. w.

Ich schritt sodann zur Ermittelung des Verhaltens in dem Falle einer ringförmig in sich selbst zurücklaufenden Reihe von Erregerplatten, der länglich viereckten Rinne selbst, oder dem Cylinderdurchschnitt im Wesentlichen entsprechend. In einen flach cylindrischen Klotz von 230$^{mm}$ Durchmesser und 40$^{mm}$ Höhe war eine concentrische Rinne von 50$^{mm}$ Breite, 70$^{mm}$ mittlerem Halbmesser und 30$^{mm}$ Tiefe ausgegraben und dicht mit Bernsteinlack gefirnifst. Bald ward die innere, bald die äufsere Wand der Rinne mit metallischen Ringen bekleidet, welche halb aus Kupfer, halb aus amalgamirtem Zink bestanden; bald der ringförmige Boden derselben mit einem flachen Doppel-Erregerpaare von entsprechender Gestalt bedeckt, das aus vier Sectoren von gleicher Bogenlänge, abwechselnd amalgamirt Zink und Kupfer, in vier aufeinander senkrechten Radien zusammengelöthet war (Fig. 60). Flüssigkeit und ableitende Platten waren, wie bei den früheren Versuchen, Brunnenwasser und Platin. Symmetrische Lage der Fufspunkte zur Mitte einer Erregerplatte gab niemals Strom; bei asymmetrischer Lage wuchs die Wirkung nach der negativen Platte hin immer rascher bis zum Ueberschreiten der Grenze mit dem einen Fufspunkte; dann nahm die Schnelligkeit des Wachsthums ab, nahezu symmetrische Stellung zur Grenze gab das Maximum. Dafs die Wirkungen über dem Kupfer diejenigen über dem Zinke an Gröfse übertrafen, versteht sich nach dem Obigen von selbst,

hat aber jetzt seine Wichtigkeit für uns eingebüfst. An dem flachen Doppel-Erregerpaare konnte beiläufig kein Unterschied in den Wirkungen bemerkt werden, gleichviel ob die vier Sectoren nur durch Löthung in den Radien ihrer Begrenzung, oder sonst durch Drähte in beliebiger Weise verbunden waren. Diese Prüfung geschah, indem ich die Nadel, bei einer bestimmten Stellung der ableitenden Platten, in beständiger Ablenkung zur Ruhe kommen liefs, und dann plötzlich die Verbindung der Platten in Quecksilber herstellte; die Nadel blieb dabei vollkommen unbewegt.

Diese letztere Vorrichtung eignete sich zur Untersuchung des Einflusses der Spannweite des Bogens auf die Gröfse des darin befindlichen abgeleiteten Stromes. Unseren obigen Herleitungen gemäfs erhielt man den stärksten Strom, wenn der Bogen symmetrisch zur Zinkkupfergrenze stand und seine Spannweite der Bogenlänge einer der ungleichartigen Platten gleich kam, so dafs seine Fufspunkte über der Mitte des einen Zinkes und eines anstofsenden Kupfers befindlich waren. Der Strom nahm ab, wenn nun die Spannweite des Bogens vergröfsert wurde; er kam auf Null, wenn sie gleich der doppelten Bogenlänge der erregenden Platten oder $= \pi$ geworden war und demgemäfs seine beiden Fufspunkte sich wieder über zwei Zinkkupfergrenzen befanden. Sollten beide Fufspunkte sich nur über einer Platte aufhalten, so gab sich, abgesehen von dem Unterschiede der Wirkungen in der Kupfer- und der Zinkstrecke, die stärkste Ableitung für die Spannweite = der halben Bogenlänge der ungleichartigen Platten, oder $= {}^1/_2\pi$, kund.

Folgender Versuch ist eine nicht uninteressante Abänderung desjenigen an dem die innere Wand der kreisförmigen Rinne bekleidenden Ringe. In der Längsmittelebene des so eben verlassenen länglich viereckten Troges ward ein Erregerpaar aufgestellt, welches aus einer 210$^{mm}$ langen, 30$^{mm}$ breiten Kupferplatte bestand, auf deren Fläche eine amalgamirte Zinkplatte von gleichen Mafsen aufgelöthet war: also gleichsam jener Ring zur Ellipse mit unendlich kurzer kleiner Axe zusammengedrückt. Hier zeigte sich, bei einem Winkel von 360° zwischen den erregenden Oberflächen, der Strömungsvorgang von der Mitte jeder Platte nach den Rändern, der Zinkkupfergrenze hin, wachsend; klein vor dem Zink, grofs vor dem Kupfer; symmetrische Stellungen der ableitenden Platten keine Wirkung gebend. Dies ist also die Vertheilung des Stromes jedesmal, dafs sich aufeinandergelöthete Plattenpaare durchaus in den feuchten Leiter versenkt finden; eine Wahrnehmung, die uns viel später noch, bei Gelegenheit der elektromotorischen Fische,[1] einen nicht unerheblichen Dienst leisten wird.

[1] S. unten, Kap. X. §. III.

(IV) Das einfach cylindrische Kupferzinkschema eines Primitivmuskelbündels.

Nach diesen Uebergangsformen wenden wir uns zur Verwirklichung der cylindrischen Vorrichtung selbst. Ich bin hier zunächst die Aufklärung eines Widerspruches schuldig, in den ich mit mir selber zu verfallen scheinen könnte. In meinem »*vorläufigen Abrisse*« habe ich mich folgendermafsen ausgedrückt: »Denkt man sich einen kupfernen, »an den Grundflächen roth gelassenen, am Mantel aber verzinkten »Cylinder mit einer Schicht eines feuchten Leiters überzogen, so hat »man zunächst ein deutliches Bild von dem an der Aufsenfläche gegen »den Querschnitt positiven Muskelfleischriemen. In der That, werden »zwei dem Mantel des Cylinders entsprechende Punkte des feuchten »Leiters mit den Enden unseres indifferenten leitenden Bogens in Be»rührung gebracht, so bleibt an der stromprüfenden Vorrichtung das »Gleichgewicht ungestört; dasselbe ist der Fall, wenn die berührten »Punkte des feuchten Leiters den rothgebliebenen Grundflächen ent»sprechend sind. Das Gleichgewicht wird dagegen sogleich gestört »erscheinen, wenn der eine Punkt über die Zink-Kupfergränze fort »in die dem heterogenen Metall entsprechende Flüssigkeitszone hinaus»gerückt wird. (§) Es folgt, dafs, wenn beide Punkte hart an dieser »Gränze entweder beide über Kupfer oder beide über Zink gelegen »sind, eine äufserst kleine Verrückung des einen oder des anderen hin»reichend sein wird, um in dem sie verbindenden leitenden Bogen einen »Strom, und zwar bald in dieser, bald in jener Richtung hin, zu er»regen.« [1]

Wirklich war dies der Ausdruck meines damaligen Wissens über diesen Punkt. Ich war in die Theorie der flachen Erregerpaare noch nicht eingedrungen, kannte auch am Muskel die schwach wirksamen Lagen des ableitenden Bogens, bei Berührung von Längsschnitt allein, oder von Querschnitt allein, noch nicht, und die Versuche mit einem kupfernen, am Mantel mit einem Zinkblech umlötheten Cylinder konnten, wie ich sie damals anstellte, mich auch nicht leicht eines Besseren belehren.

Der Cylinder, der mir auch zu meinen nachmaligen Erfahrungen gedient hat, ist von 155$^{mm}$ Höhe und 55$^{mm}$ Durchmesser. Das Zink an seinem Umfange ist amalgamirt. Ich hatte ihn damals in Flanell eingenäht, dieses sich mit Kochsalzlösung tränken lassen, und nun an verschiedene Punkte der Oberfläche des an gefirnifsten Bändern wagrecht freischwebenden Cylinders bekleidete Platinplatten angelegt, die ich ihm

[1] A. a. O. S. 9. §. 25. 26.

durch die Luft aus einem Gefäfse zuführte, wo sie gleichartig geworden waren. Dabei nahm ich nun wirklich den angekündigten Erfolg wahr, nämlich ziemlich schwache und sehr ungleiche Ströme beim Berühren von Mantel und Grundfläche, in der Richtung von dem ersteren zu letzteren in dem Multiplicator. Beim Berühren nur des Mantels oder der Grundflächen allein traten zwar auch dann und wann unregelmäfsige Spuren auf; allein ich hatte mehr Grund, dieselben den bei dem Verfahren durch Anlegen (S. oben S. 209) nie ganz zu vermeidenden Ungleichartigkeiten der ableitenden Platten, als der elektromotorischen Verrichtung selbst, zuzuschreiben. Das angewandte Verfahren taugte nicht, weil erstens die Flüssigkeit selbst übel gewählt war (S. oben S. 604. No. IX in der Tabelle), zweitens nur durch Anlegen abgeleitete Ströme erhalten werden konnten, drittens die durch Polarisation geschwächte Kraft des Cylinders sich nicht mit hinlänglicher Leichtigkeit wieder herstellen liefs.

Bei späteren Versuchen ward daher ein anderer Weg eingeschlagen. Der Cylinder schwebte mittelst eines in den Mittelpunkt einer seiner Grundflächen eingeschraubten wohlgefirnifsten Hakens an einer Schnur in einem bis 190$^{mm}$ mit Brunnenwasser gefüllten Cylinderglase von 210$^{mm}$ Tiefe und 90$^{mm}$ Durchmesser. Bei gleichem Abstande seiner einen Grundfläche von der Oberfläche der Flüssigkeit, seiner anderen von dem Boden des Glases, war er daher auf allen seinen Punkten mit einer 17.5$^{mm}$ dicken Schicht feuchten Leiters bedeckt; nur auf der Zinkkupfergrenze konnte diese Bedingung nicht ins Werk gesetzt werden, weil dazu nöthig gewesen wäre, die Kante des Cylinders, den die Masse feuchten Leiters darstellte, in Gestalt eines Viertelkreises abzurunden. Von den Folgen dieser Abweichung wird alsbald die Rede sein. Der Halter, welcher den Cylinder trug, führte zugleich eine Klemme, welche einen doppelt durchbohrten Kork eingespannt hielt. In jeder Durchbohrung desselben lief ein Glasrohr auf und nieder, worin ein besponnener Kupferdraht mit Kitt eingeschmolzen sich befand, dessen unteres Ende, wo es von der Glashülle frei wurde, an eine viereckige Platinplatte von 15$^{mm}$ Seite angelöthet war. Die Löthung war so mit Kitt überzogen, dafs stets nur Platin mit der Flüssigkeit in Berührung kommen konnte. Fliefspapierhüllen sicherten die Gleichartigkeit der ableitenden Platten und verhinderten die unmittelbare Berührung derselben mit den positiveren Metallen des Cylinders. Dies noch mehr zu verhüten, zeigte es sich nothwendig, auch noch die Ränder und vorzüglich die Ecken der bekleideten Platten mit einem Harzüberzuge zu versehen, so dafs nur die Flächen derselben der Leitung offen blieben. Solcher Röhren hatte ich zwei Paare, das eine mit senkrechten Platten zur Ableitung von den Grundflächen, das andere mit wagrechten zur Ableitung von dem Man-

tel des Cylinders. An der Grundfläche wurde die Fläche der Platte natürlich immer senkrecht auf den Halbmesser gestellt. Fig. 61 Taf. VI giebt ein Bild des Versuches, mit einer wagrechten und einer senkrechten Ableitungsplatte.

Was den Erfolg desselben, bei dieser vervollkommneten Einrichtung, betrifft, so schliefst er sich, mit hinlänglicher Treue, unseren obigen Auseinandersetzungen an. Nur ist zu bemerken, dafs die verwickeltere Technik dabei nicht mehr verstattet, das Gesetz der Stromstärken in dem Bogen bei seiner Wanderung rings um einen Längsdurchschnitt des Cylinders mit der nämlichen Vollständigkeit zu verfolgen, wie dies bei den flachen Erregerpaaren möglich war, wie gering dieselbe auch hier erscheinen mochte. Es geht zwar leicht, den Bogen, bei beständiger Spannweite, dem Mantel oder der Grundfläche des Cylinders entlang zu verrücken, und so der Curve der Stromstärken bis zu dem Punkte nachzugehen, für welchen die eine Ableitungsplatte die Zinkkupfergrenze überschreitet. Allein über diese Stellung hinaus tritt eine für die beschriebenen experimentellen Hülfsmittel unüberwindliche Schwierigkeit ein, da es sich um nichts Geringeres handeln würde, als darum, bei beständigem Abstande der beiden Platten, die eine zwar in ihrer senkrechten oder wagrechten Bewegung beharren zu lassen, der anderen aber, nachdem man ihre Ebene um 90° gedreht hätte, nunmehr statt der senkrechten die wagrechte, statt der wagrechten die senkrechte Bewegung zu ertheilen. Ich mufste mich also begnügen, mit den beiden wagrechten Ableitungsplatten den Mantel, mit den beiden senkrechten Platten die beiden Grundflächen zu untersuchen, und aufserdem eine wagrechte und eine senkrechte Platte, wie die Abbildung es zeigt, an Mantel und Grundfläche gleichzeitig anzulegen. Bei dieser letzteren Anordnung war keine Verschiebung des Bogens möglich, so dafs ich nur die Gröfse der Wirkung überhaupt bei gleichzeitiger Ableitung von Mantel und Grundfläche mit der bei Ableitung der Grundfläche allein oder des Mantels allein vergleichen konnte, die Veränderungen derselben aber unberücksichtigt lassen mufste, die aus der Verschiebung des Bogens bei beständiger Spannweite über die Zinkkupfergrenze fort erwachsen. Auf keinen Fall würde ich übrigens an dieser Stelle, wenn ich sie hätte untersuchen können, die Dinge so erfunden haben, wie sie die früheren Anordnungen, unseren einfachen Voraussetzungen gemäfs, zeigen durften; sondern durch das Anwachsen der Dicke der Flüssigkeitsschicht über der Zinkkupfergrenze (S. die vorige Seite) mufste hier die Curve der Stromstärken in dem Bogen beträchtlich verändert erscheinen. Diese Veränderung vermag man mit Hülfe der oben S. 590 angewandten Grundsätze für die verschiedenen

Spannweiten des Bogens mit ziemlicher Sicherheit im Voraus zu bestimmen; es genügt dazu die Bemerkung, dafs die isoëlektrischen Oberflächen an zwei Orten durch ein Minimum der Ausdehnung gehen müssen, zwischen denen umgekehrt ein Maximum derselben liegt. Wir lassen diese Zergliederung, welche mühsamer als interessant ist, jedoch auf sich beruhen, und wenden uns nunmehr zu den Versuchen selbst.

Ich begann folgendermafsen. Zuerst wies ich den beiden Ableitungsplatten eine solche Stellung am Mantel des Cylinders an, dafs der Aequator desselben die Spannweite des Bogens halbirte. Beim Schliefsen zeigte sich gar kein Strom. Dann verschob ich den Bogen nach oben oder nach unten, wobei die Spannweite beständig gehalten wurde, was sich, wie man sieht, sehr gut durch Auf- und Niederstellen der Klemme des Halters, welche die Ableitungsplatten trug, ausführen liefs. Sogleich entstand ein schwacher Strom in dem Bogen, und zwar, unseren Vermuthungen sowohl als den Versuchen an den einfacheren Vorrichtungen entsprechend, in dem Sinne, in dem die Verschiebung selbst geschehen war, nämlich von der dem Aequator näheren Platte zu der der Zinkkupfergrenze näheren. Wurde nochmals in derselben Richtung um dieselbe Gröfse verschoben, so entstand ein merklich stärkerer Ausschlag, natürlich in demselben Sinne; dasselbe konnte noch ein drittesmal beobachtet werden. Die Convexität der Curve der Stromstärken in dem Bogen gegen die Abscissenaxe bis zur Zinkkupfergrenze lag somit am Tage. Dabei war es gleichgültig, ob die Platten sich in einer Senkrechten übereinander, oder sonst beliebig am Mantel vertheilt fanden. Waren beide Platten in einer und derselben Querebene der Vorrichtung befindlich, so führten sie begreiflich keinen Strom; endlich braucht wohl kaum erinnert zu werden, dafs gleiche Abweichungen der Mitte des Bogens vom Aequator auch gleiche Stromstärke in demselben bedingten.

Ich schritt dann ferner zur Untersuchung der beiden Grundflächen mit Hülfe der beiden senkrechten Ableitungsplatten, welche ganz in derselben Weise vorgenommen wurde. Zuerst zeigte sich, dafs, wenn der Mittelpunkt der Grundfläche die Spannweite des Bogens halbirte, keine Strömung in demselben gegenwärtig war. Verrückte ich den Bogen nach der einen oder der anderen Seite hin, so gab sich ein Strom darin kund in dem entgegengesetzten Sinne der Verschiebung, von der der Zinkkupfergrenze näheren Platte nämlich zu der davon entfernteren, dem Mittelpunkte der Grundfläche näheren. Die Stromstärke über dem Kupfer zeigte sich dabei nicht viel stärker als über dem Zinke, obschon Brunnenwasser als feuchter Leiter angewandt wurde, was von zweierlei Dingen herrühren mochte: erstens von der beträchtlichen Dicke der

Flüssigkeitsschicht im Verhältnisse zu den Mafsen der ableitenden Platten (S. oben S. 608), und zweitens von der geringeren Spannweite des Bogens über dem Kupfer im Vergleich zu derjenigen über dem Zink, die durch die geringere Länge des Durchmessers des Cylinders im Vergleich zu seiner Höhe bedingt wurde. Derselbe Umstand aber machte es hier ungleich schwerer als am Mantel, sich über die Natur der Curve der Stromstärken in dem Bogen durch den Versuch Aufschlufs zu verschaffen, so dafs Alles, was erlangt werden konnte, sich auf den ziemlich spärlichen Nachweis einer Ansteigung derselben nach der Zinkkupfergrenze hin beschränkte. Dieselben Ergebnisse wurden beobachtet, wenn die Platten, statt sich auf einem und demselben Durchmesser der Grundfläche zu befinden, eine beliebige Stellung auf derselben einnahmen; die Strömung war z. B. stets Null, wenn beide in einem und demselben mit dem Umfange des Cylinders concentrischen Kreise verharrten. Endlich kehrten, unseren Voraussichten gemäfs, und soweit die Beobachtung gestattet war, alle diese Umstände in völlig entsprechender Weise wieder, wenn die beiden Ableitungsplatten, statt nur an eine von beiden Grundflächen, vielmehr an beide zugleich angelegt wurden. Punkte, welche an den Enden einer auf beide Grundflächen Senkrechten oder auf dem Umfange eines beide Grundflächen schneidenden concentrischen Cylinders gelegen waren, blieben, durch den stromprüfenden Bogen verbunden, elektromotorisch unwirksam; alle übrigen Zusammenstellungen hingegen erwiesen sich thätig in der Richtung, die sich aus den oben S. 594 gegebenen Regeln leicht entnehmen läfst, von dem der Zinkkupfergrenze näheren Punkte nämlich zu dem davon entfernteren, dem Mittelpunkte der einen Grundfläche näher gelegenen.

Drittens versuchte ich die Zusammenstellung von Mantel und Grundfläche selbst. Es zeigte sich, dafs, von welchen Punkten auch die Ableitung geschah, stets in dem Bogen ein Strom gegenwärtig war von dem abgeleiteten Punkte des Mantels zu dem der Grundfläche. Diese Wirkung übertraf alle vorerwähnten an Stärke. Während diese sich höchstens auf $5-10°$ belaufen, steigert jene sich wohl auf $15-20°$; Unterschiede in dieser Gröfse bei beständiger Spannweite des Bogens, aber verschiedenem Abstande seiner Mitte von der Zinkkupfergrenze konnten, wie gesagt, hier nicht mehr beobachtet werden.

Was den Einflufs der Spannweite des ableitenden Bogens betrifft, so gab den stärksten Strom die Anordnung, wo die eine wagrechte Platte sich am Aequator des Cylinders, die eine senkrechte im Mittelpunkte der einen Grundfläche sich befand. Verschieben nach den Zinkkupfergrenzen, mit Vergröfserung der Spannweite, brachte unter diesen Umständen Verminderung hervor; der Strom kam auf Null, wenn die

Platten jene Grenzen erreichten. Handelte es sich um Ableitung der Ströme nur vom Mantel, oder nur von der Grundfläche des Cylinders, so gab den stärksten Strom die Spannweite des Bogens beziehlich gleich der halben Axenlänge oder gleich dem halben Durchmesser des Cylinders, wobei die eine Platte am Aequator oder in dem Mittelpunkte der einen Grundfläche, die andere über der mitteninne liegenden Zinkkupfergrenze befindlich war.

## 5. Vergleichung der Ergebnisse am cylindrischen Schema und am Muskelbündel unter sich und mit der Theorie.

Wir sind jetzt bei einem ersten, nicht unwichtigen Ziele angelangt. Ehe ich das vielleicht noch etwas versteckte Ergebnifs freier darzulegen suche, halte ich mich für verpflichtet, den vielfach geschlungenen Weg, auf dem wir es erreichten, dem Leser nochmals von Anfang an in einem raschen Ueberblick vorzuführen. Es war folgender.

In der Absicht, eine Anordnung ungleichartiger Gebilde zu ersinnen, aus deren gleicher elektromotorischer Wirkung mit der des Muskelbündels wir auf eine Aehnlichkeit der Anordnung solcher Gebilde in beiden schliefsen dürften, geriethen wir auf die Vorstellung des cylindrischen Muskelschema's. Es handelte sich darum, den Strömungsvorgang in einem an dasselbe angelegten unwirksamen leitenden Bogen zu bestimmen, um zu sehen, ob derselbe mit dem durch das Gesetz des Muskelstromes gegebenen übereinkommen würde: was auf zweierlei Weise geschehen konnte, erstlich dem Wege theoretischer Betrachtungen, fürs zweite dem des Versuches unmittelbar. Wir fanden Gründe, obschon uns die Schwierigkeit und auch im Allgemeinen die Undankbarkeit des Unternehmens nicht entging, uns dennoch, und zwar zuerst, mit der ersten dieser beiden Untersuchungsarten zu befassen; es ist hier gleichgültig für unseren Zweck, dafs wir dabei einen allmäligen Gang von den flachen Erregerpaaren, in welche wir die hauptsächlichsten Schwierigkeiten des Gegenstandes unter eine möglichst einfache und übersichtliche Form zusammengedrängt hatten, bis zum ungleich verwickelteren Bilde des cylindrischen Schema's selbst verfolgten. Es gelang uns nun in der That, mit Hülfe der blofsen Anschauung die allgemeinsten Züge und die ausgezeichneten Punkte der Curve zu erkennen, in welcher der Strömungsvorgang in dem Bogen beim Verschieben desselben rings um einen Längsdurchschnitt des cylindrischen Schema's sich verändert. Ehe wir dieses Ergebnifs der theoretischen Betrachtung, für welches uns leider die Gewähr der Rechnung fehlte, mit dem durch das Gesetz des Muskelstromes für die thierischen Erreger gege-

benen Bestimmungen verglichen, wünschten wir es durch Betretung auch des zweiten Weges, des Versuches nämlich, gehörig bekräftigt zu sehen. Zu unserem Erstaunen stiefsen wir dabei auf eine ungeheure Abweichung zwischen dem beobachteten und dem theoretisch vorhergesagten Erfolge. Dieser Zwiespalt wurde zum Ausgangspunkte einer neuen, thatsächlichen Untersuchung, welche den Gegenstand der Abtheilung (II) der 4. Nummer dieses Paragraphen ausmachte und die uns zuletzt zu der Ueberzeugung geleitete, dafs jene Abweichung nur eine Erscheinung untergeordneter Art, durch die Ladungen der Erregerplatten bedingt, sei, und Nichts mit dem theoretisch von uns aufgestellten Gesetze, welches diese Nebenwirkung unberücksichtigt liefs, zu schaffen habe. Von dieser Verwirrung erlöst, durchliefen wir sodann in der Abtheilung (III) auch auf dem Wege des Versuches die allmälige Stufenleiter immer verwickelterer Anordnungen von flachen Erregerpaaren, bis wir endlich, ohne weiter auf einen mit unserer Theorie nicht vereinbaren Umstand gestofsen zu sein, beim cylindrischen Muskelschema selbst anlangten.

Ich hatte nun schon am Schlusse der Nummer 2., wo wir die theoretische Betrachtung der cylindrischen Vorrichtung verliefsen, angekündigt, dafs das Ergebnifs derselben mit dem am Muskelbündel selbst beobachteten übereinkomme, nur dafs die Form, unter der sich beide ausgedrückt befänden, wegen der Art ihrer Herleitung noch eine verschiedene sei. Dies mufs jetzt näher auseinandergesetzt werden.

Der erwähnte Unterschied des Ausdruckes beruht darauf, dafs wir beim Muskel, für eine und dieselbe Spannweite des Bogens, nur eine beschränkte Anzahl von Punkten der Curve zu beobachten vermochten, welche das Gesetz darstellt, wonach die Stärke des abgeleiteten Stromarmes in dem Bogen sich bei seinem Verschieben rings um einen Längsdurchschnitt des Muskelbündels richtet, oder der punktirten Curve Fig. 57, und ohne dafs wir irgend einen Anlafs gehabt hätten, diese Punkte zu einer stetigen Linie in der Vorstellung verschmelzen zu lassen; während wir vom Standpunkte der Theorie aus gerade umgekehrt auf die Vorstellung jener Curve in ihrer vollen Stetigkeit geführt wurden. Vergleichen wir nun aber die unzusammenhängenden Beobachtungen am natürlichen Erreger mit den durch die Betrachtung unter den nämlichen Umständen geforderten Wirkungsgröfsen, so zeigt sich allerdings, dafs ein gegenseitiges Entsprechen stattfindet; dafs die einzelnen durch den Versuch am Muskel gegebenen Ordinaten, an den zugehörigen Stellen auf die Abscissenaxe aufgetragen, in die allgemeine Gestalt der theoretisch entworfenen Curve hineinpassen. Dehnen wir sodann die Vergleichung noch auf die am cylindrischen Muskelschema angestellten

Beobachtungen aus, so versteht es sich von selbst, dafs auch diese sich mit den am Muskel selbst gewonnenen zu Eins zusammenfügen, da sie, erwähntermafsen, den theoretischen Voraussichten Genüge leisten. Und da bereits an dieser schematischen Vorrichtung Schwierigkeiten sich der thatsächlichen Untersuchung in den Weg legen, wodurch dieselbe abermals, wie am Muskel, wenn auch noch nicht in dem Mafse, auf die Verzeichnung einer sehr geringen Anzahl von Punkten der Curve eingeschränkt wird, so findet es sich zuletzt gar, wie man vielleicht schon wahrgenommen hat, dafs auch in der äufseren Form die Ergebnisse am cylindrischen Schema bereits mehr mit denen durch das Gesetz des Muskelstromes angezeigten übereinstimmen.

Diese Punkte klar hervortreten zu lassen, legen wir nun zuerst einen Muskel auf die bekannten Bäusche unserer Vorrichtung dergestalt auf, dafs beide gleichweit von seinem geometrisch mittleren Querschnitte befindlich sind. Nach dem Gesetze des Muskelstromes (S. 517. *II.* Fig. 48. 49. Taf. V.) wird alsdann der Strom Null sein, ebenso, wie man Fig. 57 sieht, und oben S. 594 erörtert wurde, nach der Theorie und er ist es auch, wie man sich erinnert, an dem cylindrischen Schema wenn beide ableitenden Platten, welche den beiden Bäuschen zu vergleichen sind, sich in gleichem Abstande vom Aequator des Cylinders aufhalten. Dies wird in allen dreien Fällen, am Muskel, in der Theorie und am Kupferzinkschema stattfinden, welches auch die Spannweite des Bogens, d. h., am Muskel, der Abstand der Bäusche von einander sei, gleichviel also, ob die berührten Punkte dem Längsschnitte oder dem Mantel, oder ob sie den beiden Querschnitten oder den Grundflächen des Muskels oder der cylindrischen Vorrichtung angehören. Dasselbe würde der Fall sein, und hätte der Theorie nach der Fall sein müssen, wenn wir den Muskel statt mit Längsschnitt, mit Querschnitt dergestalt aufgelegt hätten, dafs die beiden Bäusche in gleichem Abstande vom Mittelpunkte des Querschnittes befindlich gewesen wären; oder wenn wir den beiden senkrechten Ableitungsplatten an unserer cylindrischen Vorrichtung eine Stellung in einem dem Umfange des Cylinders concentrischen Kreise auf einer der beiden Grundflächen angewiesen hätten. Dies sind die von uns sogenannten, durch das Gesetz des Muskelstromes bestimmten unwirksamen Anordnungen des Muskels und des angelegten leitenden Bogens, für welche demnach, wie man sieht, ein erwünschtes Uebereintreffen zwischen den Leistungen des Kupferzinkschema's, des natürlichen thierischen Erregers und den durch die Betrachtung geforderten stattfindet.

Gehen wir zu den schwach wirksamen Anordnungen über (S. oben S. 516. 517. *I.* B. *a. b.*), und zwar zunächst den Strömen des Läng-

schnittes des Muskels (Ebendas. C. Fig. 47. Taf. V.), oder des verzinkten Mantels unseres Cylinders allein. Die Theorie zu prüfen, müssen wir dem Bogen, dessen Enden, unter der Gestalt, sei's der Ableitungsplatten, sei's der Bäusche, in gleichem Abstande von dem geometrisch mittleren Querschnitte oder dem Aequator am Längsschnitte oder über dem Zinke befindlich sind, nunmehr eine asymmetrische Stellung ertheilen, wobei gleichwohl seine Spannweite unverändert bleibt, oder mit einem Worte, wir müssen ihn nach der einen Zinkkupfergrenze hin verrücken: so entsteht nach dem Gesetze des Muskelstromes, nach der Theorie und nach den Versuchen am Kupferzinkschema, ein Ausschlag am Multiplicator, welcher einen Strom in dem Bogen in der Richtung anzeigt, in der derselbe verschoben wurde, nämlich von dem dem mittleren Querschnitte, oder dem Aequator näheren Punkte zu dem davon entfernteren. Dieser Strom ist, nach allen drei Angaben, äufserst schwach; die Theorie sagt aber, dafs er, gegen die Abscissenaxe convex, bis zu dem Punkte immer steiler und steiler aufsteige, wo der eine Fufspunkt des Bogens die Zinkkupfergrenze überschreitet. Hier erfährt die Curve einen Wendepunkt, sie steigt zwar noch an, aber mit abnehmender Geschwindigkeit, und findet einen oberen Grenzwerth für eine gewisse, nicht näher zu bestimmende mittlere Stellung über der Zinkkupfergrenze.

Dies ist nun der wesentliche Punkt, in welchem anscheinend gar kein Zusammenhang zwischen dem Ergebnisse der Betrachtung und dem erfahrungsmäfsigen Gesetze des Muskelstromes herrscht. Dasselbe weifs nur davon, dafs man schwache Ströme in der allgemeinen Richtung vom geometrisch mittleren Querschnitte zu den Endquerschnitten erhält, so lange man sich mit beiden Bäuschen am Längsschnitte befindet; und dafs man ungleich kräftigere Wirkungen erfolgen sieht, wenn man mit dem einen Bausche auf den Querschnitt selbst hinüberrückt; von einem Mafse der Stärke, dem diese starken, jene schwachen Ströme je nach der Lage des Bogens noch ferner unterworfen wären, von einem, wenn auch noch so steilen, doch wirklich vermittelten Uebergange zwischen beiden Abtheilungen derselben weifs es nichts. Dieser Mangel an Uebereinstimmung mag jedoch nur scheinbar sein; er mag in der That allein auf dem Mangel entsprechender Beobachtungen am Muskel beruhen, der zum gröfsten Theile der ungemeinen Schwierigkeit, ja Unmöglichkeit derselben zuzuschreiben ist, zu einem anderen, freilich ungleich kleineren Theile indefs auch dem Umstande, dafs wir bis jetzt gar keine Veranlassung hatten, eine Bestimmung der Art vorzunehmen, während hier begreiflich keine sich der Aufmerksamkeit aufdrängende Thatsachen zu Tage liegen; was diesen Theil der hier vorhandenen Lücke

betrifft, so werden wir alsbald der nun ergangenen Aufforderung zur Beobachtung Folge leisten.

Zuvor sei daran erinnert, wie sich am cylindrischen Schema diese Verhältnisse gestalteten. Hier schritten wir zur Beobachtung mit der vorgefafsten Ansicht von der Curve der Stromstärken in dem Bogen, wie wir sie den theoretischen Betrachtungen sowohl, als den einfacheren experimentellen Anordnungen bereits entlehnt hatten. Wirklich fanden wir auch unsere Vorstellung bis zu dem Punkte bestätigt, wo nun der eine Fufs des Bogens die Zinkkupfergrenze überschreiten sollte. Die Curve stieg convex gegen die Abscisse bis zu dieser Gegend an; hier aber angelangt, war, aus den oben S. 621 dargelegten Gründen, von weiteren Fortschreiten über jene Grenze hinaus auf die nämliche Weise keine Rede mehr; es mufste zu einer anderen Vorrichtung bei der Ableitung gegriffen werden, und gerade wie im Gesetze des Muskelstroms konnten wir nur noch sagen, ohne irgend weiter das Bild der Curve zu vervollständigen, dafs, bei zwischen den Ableitungsplatten befindlicher Zinkkupfergrenze, der abgeleitete Strom stets sehr viel stärker ausfalle, als wenn die Ableitung von Punkten der Flüssigkeitsschicht über dem Mantel allein geschehe.

Nehmen wir jetzt unsere Vorrichtung wieder zur Hand, und sehen wir zu, ob es uns gelingen möge, innerhalb der schwachen Ströme des Längsschnittes, beim Verschieben des Muskels auf den Bäuschen in solcher Weise, dafs es dem Verschieben des Bogens von gleicher Spannweite längs dem Mantel der cylindrischen Vorrichtung entspricht, eine Gesetzmäfsigkeit der Art zu entdecken, wie die dargelegte Theorie es verlangt, und sie am cylindrischen Schema bereits nachgewiesen ist. Wirklich ist dieses der Fall. Man stellt die Bäusche in einen sehr geringen, etwa 3$^{mm}$ betragenden Abstand von einander, bekleidet sie mit Eiweifshäutchen und legt auf diese in der bereits S. 557 beschriebenen Fig. 52 Taf. IV. abgebildeten Weise Stückchen Glimmer oder Wachstaffent auf, so dafs nur der äufserste Rand der Bäusche frei bleibt, der nunmehr die Fufspunkte des unwirksamen leitenden Bogens vertritt. Ueber die Lücke breitet man einen der regelmäfsig gefaserten Oberschenkelmuskeln eines möglichst grofsen Frosches, die sich S. 497 unter 2. 3. 4. 6. bezeichnet finden, und bei ähnlichen Gelegenheiten schon früher vielfach angewendet worden sind. An dem einen Ende desselben mufs ein künstlicher Querschnitt möglichst senkrecht auf die Richtung der Fasern angebracht sein. Der Muskel wird zuerst, mit seinem geometrisch mittleren Querschnitte (S. oben S. 513. 514) in der Mitte zwischen beiden Bäuschen, so aufgelegt, dafs er, was bei so geringem Abstande der Bäusche übrigens keine Schwierigkeit hat, einen unmerklichen, oder gar

keinen Strom zeigt. Dann fafst man ihn mit der Pinzette an dem Ende, wo ihm, zu diesem Behufe, ein sehniger Anhang gelassen worden ist, und zieht ihn über die Lücke zwischen den Bäuschen um eine bestimmte Gröfse in der Richtung fort, dafs sein künstlicher Querschnitt sich der Lücke nähert. Es wird in manchen Fällen kein Ausschlag, in noch anderen wohl gar ein Ausschlag in unrichtiger Richtung, d. h. von dem dem geometrisch mittleren Querschnitte näheren Punkte in dem Muskel zu dem davon entfernteren Punkte erfolgen; allein in der Mehrzahl der Fälle wird der Strom, bei freilich grofser Schwäche, doch den richtigen Sinn innehalten. Verschiebt man nun abermals, in der nämlichen Richtung, um dieselbe Gröfse, so erfolgt diesesmal der Ausschlag ganz entschieden, und viel stärker in der richtigen Richtung. Hat man dann noch Platz zu einer dritten Verschiebung übrig, womit man jedenfalls aber ganz nahe an den künstlichen Querschnitt gerathen wird, wenn die vorigen Verschiebungen grofs genug gewesen sind, um eine merkliche Wirkung zu erzeugen, so erfolgt zum dritten Male ein Ausschlag, der in vielen Fällen unzweideutig bestätigt, was schon der zweite lehrte, dafs die Curve der Stromstärken nach dem Querschnitte hin nicht nur aufsteigt, sondern sogar, dafs sie convex gegen die Abscissenaxe gestaltet ist.

Dieselbe Beobachtung läfst sich am künstlichen Längsschnitte wiederholen. Man bedient sich eines der Länge nach zerrissenen Semimembranosus. Damit nur künstlicher Längsschnitt und nur in einer geringen Länge die Bäusche berühren könne, werden die Stücke Glimmer oder Wachstaffent bis an den Rand derselben gerückt, in ihren eigenen entsprechenden Rändern aber viereckte Lücken von $1^{mm}$ Seite ausgeschnitten, durch welche die Berührung zwischen Bausch und künstlichem Längsschnitte allein verstattet ist.

Legt man endlich, wenn man, bei der dritten Verschiebung, dem Querschnitte ganz nahe gekommen ist, diesen selber auf, so steigt begreiflich der Ausschlag noch viel höher; man mufs es aber hier, wie beim cylindrischen Kupferzinkschema, dabei bewenden lassen, nachzuweisen, dafs der Strom, für alle Stellungen des Bogens, wo die Scheidelinie der ungleichartigen Gebilde zwischen seinen Füfsen liegt, bei weitem stärker ausfällt als für solche, wo beide Füfse nur über der einen ungleichartigen Strecke befindlich sind. Man gelangt zu keiner Gewifsheit mehr, nicht einmal in Betreff eines Aufsteigens des Stromes überhaupt bis zu einem gewissen Grenzwerthe beim weiteren Fortrücken des Bogens über die Grenze der ungleichartigen Gebilde hinaus, geschweige denn dafs es glücken könnte, Feinheiten wie die hier möglicherweise stattfindende Concavität der Curve der Stromstärken auf-

zudecken. Dies liegt einfach daran, dafs erstens der Querschnitt der Froschmuskeln zu klein ist, um daran mit Erfolg verschiedene Ableitungsstellen unterscheiden zu können, zweitens daran, dafs man es entweder mit dem unregelmäfsig gestalteten natürlichen Querschnitte, oder mit dem künstlichen Querschnitte zu thun hat, der, als verletztes Muskelinneres, keine hinreichende Beständigkeit der Wirkung besitzt. Muskeln warmblütiger Thiere leiden schon an und für sich zu sehr an dem letzterwähnten Uebelstande, um hier in Anwendung gezogen werden zu können.

Die Betrachtung der schwachen Ströme des Längsschnittes hat uns unvermerkt bereits auf das Gebiet der stark wirksamen Anordnungen (S. oben S. 515. *I.* A.) geführt, so dafs uns jetzt nichts mehr übrig bleibt, als von denselben, indem wir auch noch den anderen Fufs des Bogens die Grenze der ungleichartigen Gebilde überschreiten lassen, zu den Strömen des Querschnittes des Muskels, oder der Grundfläche allein der cylindrischen Vorrichtung überzugehen (S. oben S. 516. *I.* B. c). Der Theorie nach soll nun wieder die Stromstärke bis zu der symmetrischen Stellung des Bogens über dem Mittelpunkte der negativen Fläche in einer gegen die Abscissenaxe convexen Curve von dem Punkte an sinken, wo der Bogen ganz auf diese Fläche hinübertritt. Dies vermochten wir am Cylinder jedoch schon nicht mehr vollständig nachzuweisen. Der Durchmesser desselben zeigte sich zu gering, die Spannweite des Bogens mufste zu klein, die Verschiebungen zu unbedeutend gewählt werden, als dafs noch ein deutliches Ergebnifs hätte die Folge sein können. Es gelang uns nur, zu zeigen, dafs die Ströme der Grundfläche allein, gleich denen des Mantels allein, denjenigen an Stärke weit nachstehen, die durch vereinte Ableitung von Mantel und Grundfläche gewonnen werden; wie auch, dafs ein irgendwie beschaffenes Aufsteigen der Stromstärke nach der Zinkkupfergrenze stattfindet. Die Richtung der Ströme stimmt mit der Theorie und mit der Erfahrung am Muskel überein. Hier waren wir auch, bei der Entdeckung des Gesetzes des Muskelstromes, bei dem einfachen Nachweise von schwachen Strömen in der allgemeinen Richtung, welche durch dieses Gesetz gegeben wird, stehen geblieben. Es zeigt sich aber auch noch jetzt, dafs es nicht wohl möglich ist, die hier vorhandene Lücke auch nur so weit auszufüllen, wie es so eben für den Längsschnitt geschah. Dafs dies an Froschmuskeln nicht angehe, bedarf keiner Erwähnung mehr, da wir schon oben S. 507 dieselben verlassen mufsten, um das Gesetz der Ströme des Querschnittes aufzusuchen; aber die Muskeln warmblütiger Thiere, deren wir uns zu diesem Zwecke bedienten, bieten für ein noch weiter ins Feine Treiben der Beobachtungen, wie schon

bemerkt, denn doch keine hinreichende Beständigkeit der Wirkungen dar. Nichtsdestoweniger glaube ich aussagen zu dürfen, dafs das Aufsteigen der Curve der Stromstärken nach dem Längsschnitte hin unverkennbar ist, wenn auch nicht mehr entschieden werden kann, ob dasselbe, wie die Theorie es verlangt, durch eine gegen die Abscissenaxe convexe Biegung geschieht.

Anlangend die Vergleichung der Ströme, die an den Muskeln durch Berührung beider Querschnitte zugleich erhalten werden, mit den am Cylinder durch Ableitung von Punkten der Flüssigkeitsschicht an beiden Grundflächen gewonnenen Wirkungen, so erinnert man sich wohl, dafs es uns nicht glücken wollte, eine klare Gesetzmäfsigkeit in jenen zu entdecken. Wir fanden zwar, dafs die Gesammtheit eines Querschnittes sich zur Gesammtheit eines anderen gleichartig verhält; dafs die Stärke der Ströme, die sich bei dieser Art der Berührung kundgeben, derjenigen der Ströme des Längsschnittes oder eines Querschnittes allein entsprach; dafs die Richtung der Ströme eine deutliche Abhängigkeit von der Lage der Berührungspunkte verrieth; aber nur in wenig Fällen gab sich, wie es sein sollte, der negative Punkt als der dem Mittelpunkte nähere, der positive als der davon entferntere, dem Längsschnitte nähere zu erkennen. Wir trösteten uns über diese Abweichung, weil wir einsahen, dafs das gestellte Verlangen den Unregelmäfsigkeiten der Gestaltung gegenüber, welche die untersuchten Muskeln zeigten, im Grunde ein unbilliges sei. Somit fällt denn auch hier die jetzt in Rede stehende Vergleichung weg; aber wir dürfen wohl, wie für die übrigen Punkte, die Einsicht in Grund und Wesen jener Ströme, die uns die Theorie, durch die Versuche am cylindrischen Schema erhärtet, gewährt, als eine wünschenswerthe Ergänzung der durch das Gesetz des Muskelstromes darüber gegebenen Bestimmungen betrachten.

In einem letzten Punkte haben wir nun die Erscheinungen an dem thierischen Erreger noch mit den Forderungen der Theorie einerseits, andererseits mit den Erfahrungen am cylindrischen Schema zu vergleichen: es ist in Betreff des Einflusses, den die Spannweite des Bogens auf die Gröfse des abgeleiteten Stromes ausübt. Auch hierüber haben wir, bei Gelegenheit des Gesetzes des Muskelstromes, keinen Anlafs gehabt, Versuche anzustellen; wir holen sie daher an dieser Stelle nach.

Das Verfahren bietet keine Schwierigkeit dar; es ist nichts als eine zweckgemäfse Verbindung früherer Kunstgriffe. Soll der Strom vom Längsschnitte allein abgeleitet werden, so wird einer der regelmäfsig gefaserten Muskeln von dem Oberschenkel des Frosches zuerst so auf die mit Eiweifshäutchen und Glimmerblättchen wie oben versehe-

nen Bäusche gelegt, dafs sein Querschnitt dem Rande des Glimmerblattes, auf dem er ruht, sich sehr nahe befindet; die Entfernung der Bäusche wird so klein als möglich genommen. Nun hebt man mittelst der Pinzette den Punkt des Längsschnittes ab, der dem elektromotorisch mittleren Querschnitte näher gelegen ist, verändert den Abstand der Bäusche und läfst den Muskel wieder zur Berührung herabsinken; ein positiver Ausschlag oder ein solcher im Sinne der Ladungen erscheint dann und zeigen, ob die Veränderung der Spannweite des Bogens beziehlich einen vergröfsernden oder einen verkleinernden Einflufs auf die Stromstärke ausgeübt hat. Soll der Strom von Querschnitt und Längsschnitt zugleich abgeleitet werden, so läfst sich der Versuch nicht gut anders anstellen, als indem man auf der einen Seite den Gesammtquerschnitt eines der oben bezeichneten regelmäfsig gefaserten Muskeln, auf der anderen wie gewöhnlich Längsschnitt auflegt. Damit es aber dem Muskel, beim Abheben des Längsschnittes während der Verschiebung der Bäusche, nicht an einem Stützpunkte gebreche, wird die Spitze der dreieckigen Glastafel (S. oben S. 495. Fig. 28. Taf. I) zwischen den Bäuschen aufgestellt; auf ihr ruht der Querschnitt des Muskels unverrückt gegen den einen Bausch, während der andere bald näher, bald entfernter gebracht wird. Die Spannung des Endes des ableitenden Bogens, d. h. des Bausches, welches, bei dieser Anordnung, den Querschnitt in seiner ganzen Ausdehnung berührt, wird gewissermafsen als eine mittlere zwischen den beiden äufsersten Spannungen zu betrachten sein, welche überhaupt in der Schicht feuchten Leiters über dem negativen Gliede der Muskelkette herrschen. Am Querschnitte allein habe ich den in Rede stehenden Versuch noch nicht ins Werk gesetzt. Kaninchenmuskeln, die mir allein zu Gebote standen, haben immer noch einen zu kleinen Querschnitt, als dafs es mit Hülfe des oben S. 507. Fig. 37. Taf. IV. dargestellten Verfahrens gelingen könnte, so feine Punkte des Gesetzes ihrer elektromotorischen Thätigkeit zu erforschen, abgesehen von dem schnellen zu Grunde Gehen der Wirkung vorzüglich künstlicher Flächenbegrenzungen an denselben.

Was den Erfolg an den Froschmuskeln betrifft, so stimmt er von Neuem auf das Genaueste mit den Voraussichten unserer bisherigen Theorie sowohl, als mit den Beobachtungen an der cylindrischen Vorrichtung überein. Legt man, nachdem die Nadel in beständiger Ablenkung zur Ruhe gekommen ist, statt eines möglichst kurzen Stückes des Muskels, welches bis dahin zwischen den Bäuschen befindlich war, ungefähr die Hälfte desselben auf, so dafs die Spannweite des ableitenden Bogens sich vom Gesammtquerschnitte oder der Grenze der ungleichartigen Gebilde bis zum mittleren Querschnitte erstreckt, so erfolgt

eine Vermehrung der Stromstärke. Verlängert man abermals, so dafs man mit dem veränderlich aufliegenden Punkte des Längsschnittes dem anderen freien Querschnitte nahe rückt, so erfolgt ein Ausschlag im Sinne der Ladungen; nicht zu verwundern, wenn beiderseits nur Längsschnitt aufliegt, da man ja alsdann auf eine der unwirksamen Anordnungen (S. 517. Fig. 48. Taf. V.) geführt worden ist. Kehrt man zurück, so erfolgt zuerst, für eine Verkürzung, welche die Hälfte des Muskels zwischen die Bäusche bringt, ein positiver Ausschlag; verkürzt man den aufliegenden Theil noch mehr, so tritt stets lebhafte Wirkung im Sinne der Ladungen ein. Dafs dabei nicht von einem blofsen Einflusse der Verlängerung oder Verkürzung der zwischen den Bäuschen begriffenen Strecke des Muskels auf den Widerstand des Kreises die Rede sein könne, geht wohl zur Genüge schon daraus hervor, dafs eine Veränderung dieses Widerstandes in demselben Sinne erst die eine, und weiter fortgesetzt, die andere Wirkung auf die Stromstärke nach sich zieht. Um jedoch diesen Punkt in noch helleres Licht zu setzen, habe ich die nämlichen Versuche noch mit Anwendung des Verfahrens der Compensation angestellt,[1] und ganz den nämlichen Erfolg wahrgenommen. Es wurde nämlich ein Zwischenbausch (S. oben S. 223) zwischen den beiden Ableitungsbäuschen angebracht, an den gehörigen Stellen mit Eiweifshäutchen bekleidet, und gegen diese der künstliche Querschnitt zweier gleichnamigen Oberschenkelmuskeln eines und desselben Frosches gelehnt, deren natürliche Längsschnitte beziehlich den einen und anderen der Ableitungsbäusche berührten. Waren sich die in beiden Lücken des Kreises befindlichen Strecken der Muskeln an Länge gleich, so erschien der Strom fast aufgehoben; wurde der eine Muskel ganz kurz aufgelegt, der andere bis zur Hälfte seiner Länge, so überwog der Strom des letzteren; er überwog aber ebenso, wenn der erste Muskel, statt kurz aufgelegt zu werden, vielmehr sehr nahe an seinem zweiten, freien Endquerschnitte mit dem entsprechenden Bausche in Berührung gebracht wurde. Zwei Muskeln compensiren einander vollkommener, wenn der eine ganz kurz, der andere in grofser Länge aufgelegt wird, als wenn der eine kurz oder in grofser Länge, der andere aber mit der Hälfte seiner Länge zwischen den Bäuschen begriffen ist. Diese Versuche lassen an der Richtigkeit der obigen, ohne Compensation gewonnenen Erfahrungen über den Einflufs der Spannweite des Bogens auf die Stromstärke in demselben keinen Zweifel zurück; das dadurch festgestellte Verhalten wird uns übrigens viel später noch einmal von Bedeutung werden.

[1] S. oben S. 243 und unten am Schlusse dieses Kapitels.

Der Eingangs dieser Nummer angekündigte, nicht unwichtige Erfolg liegt demnach jetzt, wenn ich nicht irre, klar vor Augen. Es ist derjenige, dafs, nach Theorie sowohl als nach Erfahrung, so weit beide reichen, das Gesetz der abgeleiteten Ströme an dem kupfernen, am Mantel verzinkten, an den Grundflächen rothgebliebenen, überall mit einer gleich dicken Schicht eines feuchten Leiters bekleideten Cylinder übereinkomme mit dem der abgeleiteten Ströme am Muskelbündel, welches wir das Gesetz des Muskelstromes genannt haben. Wir sind somit jetzt bei dem Punkte dieser Untersuchung angelangt, der bereits oben S. 586 vorhergesehen wurde; der dort vorgezeichnete Entwurf über das, was nun weiter von hier aus zu thun sei, ist jetzt ins Werk zu setzen.

Zuvor vollenden wir den Kreis vergleichender Betrachtungen, die wir so eben angestellt haben, mit der Bemerkung, dafs die Fig. 57, wenn auch noch nicht durch die daran sichtbare Vertheilung ungleichartiger Gebilde, doch durch einen Theil der darin verzeichneten Curven gewissermafsen als Ergänzung zu der Reihe schematischer Abbildungen Fig. 45 — 49 derselben Tafel angesehen werden darf, wodurch oben S. 517. 518 das Gesetz des Muskelstromes erläutert wurde. Die punktirte Curve der Stromstärken in dem Bogen nämlich, welche, in ihren wesentlichsten Zügen, wie für den Cylinder, wohl unstreitig auch für das Muskelbündel gültig ist, umfafst jene fünf Figuren so zu sagen all, und enthüllt mit einem Ueberblicke das Gesetz, welches denselben nur stückweise entnommen werden kann. Um diesen Zusammenhang zwischen der Fig. 57 und den vorerwähnten um so deutlicher in die Augen zu heben, sind dem den Cylinder- oder den Muskelbündeldurchschnitt vorstellenden länglichen Vierecke in beiden entsprechende Mafse ertheilt worden.

Ich brauche übrigens wohl nicht erst aufmerksam zu machen auf den wesentlichen Fortschritt, der in der Möglichkeit der hier entwickelten neuen Auffassungsweise des Gesetzes des Muskelstromes liegt. Fernerhin unterscheiden wir nicht mehr, kraft eines rohen Erfahrungssatzes, schlechthin zwischen zweien Klassen von Strömen je nach ihrer Stärke; sondern in dem scheinbaren Sprunge, der zwischen beiden wahrgenommen wird, suchen wir den Ausdruck der eigenthümlichen Gestalt einer Curve zu erkennen, welche das Gesetz des Muskelstromes in seiner Stetigkeit wiedergiebt. Wir wissen, dafs sie von der symmetrischen Stellung der Bäusche zum mittleren Querschnitte, wo ihre Ordinate Null ist, gegen die Abscissenaxe convex bis zu dem Punkte aufsteigt, wo der eine Bausch auf Querschnitt geräth. Hier hört unsere erfahrungsmäfsige Kenntnifs derselben zwar bereits auf; sollte aber der Anschein

der Discontinuität, der daselbst stattfindet, nicht vielleicht einzig darauf zu deuten sein, dafs die Beobachtung aufser Stande ist, gleichsam eine angemessene Reihe von Stationen auf einer so kurzen Strecke der Abscissenaxe aufzuschlagen, als dem steilen Uebergange von den niederen Werthen der Ordinate über Längs- oder über Querschnitt allein, und den ungleich höheren über beiden zugleich entspricht? Am Cylinder wenigstens, wo für den Versuch die nämliche Schwierigkeit eintritt, stellte sich uns, in der Erfahrung, ganz der nämliche Gegensatz starker und schwacher Ströme, ganz derselbe täuschende Anschein der Discontinuität dar, während doch das Dasein eines vermittelnden Ueberganges zwischen beiden Abtheilungen durch die Theorie sowohl als durch die Erfahrung an den flachen Erregerpaaren völlig aufser Zweifel gesetzt ist.

## 6. Erörterung der gewonnenen Ergebnisse.

Von den obigen Betrachtungen, welche den Gegenstand der vorliegenden Untersuchung eine Zeit lang fast ganz aus den Augen verloren, um sich mit der Vervollständigung des Gesetzes des Muskelstromes zu beschäftigen, die sich uns bei dieser Gelegenheit darbot, kehren wir jetzt wieder zu dem Zwecke zurück, dessen Bedeutsamkeit es über uns vermocht hat, uns in ein Unternehmen von so weithinausgelegenem und so zweifelhaftem Erfolge einzulassen.

Das Gesetz des Muskelstromes und das der abgeleiteten Ströme an der cylindrischen Vorrichtung stimmen völlig mit einander überein, wenigstens so weit an beiden die Beobachtung nur irgend gestattet war. Es handelt sich darum, zu erwägen, zu welchen Schlüssen uns dieser Erfolg berechtigt.

Es ist vielleicht nicht unzweckmäfsig, wenn ich, von den nunmehr gewonnenen neuen Gesichtspunkten aus, zuerst daran erinnere, dafs davon nicht die Rede sein kann, jetzt etwa dem Gesammtmuskel selbst den Bau der cylindrischen Vorrichtung, hinsichtlich der Vertheilung der ungleichartigen Gebilde an derselben, zuzuschreiben. Dies geht einfach daraus hervor, dafs, wenn wir den Muskel und die cylindrische Vorrichtung auf beliebige Weise der Axe parallel und senkrecht darauf in prismatische Stücke spalten, die Muskelbruchstücke, wie wir aus der Erfahrung wissen, sämmtlich fort und fort nach dem Gesetze des Muskelstromes wirksam sein werden, hingegen von denen der cylindrischen Vorrichtung wird dies für kein einziges der Fall sein.

Indem wir beim Muskel diese Theilung so weit fortsetzten, als unsere Beobachtungsmittel reichten, fanden wir, in Betreff der Gültigkeit des Gesetzes des Muskelstromes, an keiner Stelle eine ausgesprochene

Grenze. Zwar wurde zuletzt, an immer kleineren Bruchstücken, die Wahrnehmung der schwachen Ströme des Quer- und Längsschnittes allein unmöglich gemacht, indessen hatten wir durchaus keinen Grund, deshalb ihr Dasein, z. B. noch an einem einzelnen Primitivbündel, in Abrede zu stellen, denn nichts wies darauf hin, dafs zu ihrer Erzeugung mehrere Bündel nothwendig seien, oder auf andere Weise zusammenwirken, als indem jedes eine ähnliche Partialwirkung zu einem entsprechenden Gesammtergebnisse hinzuträgt. Wir schrieben demnach jedem einzelnen Bündel die elektromotorische Wirksamkeit nach dem Gesetze des Muskelstromes zu, eine Vorstellungsweise, die uns auch in physiologischem Sinne unbedingt am meisten zusagen mufste. Durch einen Kreis von Betrachtungen ganz anderer Art liefsen wir uns ferner zu der Ansicht geleiten, dafs die Bindegewebhülle des Muskels sowohl als die Hüllen der Muskelbündel noch nicht das positive Kettenglied selber seien, sondern nichts als einen unwirksamen leitenden Ueberzug über das darunter gelegene vorstellen. Diese Meinung ist jetzt vollkommen gerechtfertigt; denn man übersieht in der That, was bereits oben S. 560. 562 angedeutet wurde, dafs es erst die Einführung dieses Umstandes in unser cylindrisches Schema, die Bekleidung desselben nämlich mit einer überall gleich dicken Schicht feuchten Leiters war, wodurch dasselbe mit den schwachen Strömen des Längs- und des Querschnittes allein ausgestattet wurde; die Gegenwart derselben beweist das Dasein einer, die beiden ungleichartigen Kettenglieder überziehenden unwirksamen leitenden Schicht.

Diese Bemerkung ist geeignet, uns auf einen Uebelstand der Vorstellungsweise aufmerksam zu machen, zu deren Prüfung wir jetzt übergehen, dafs nämlich die Anordnung der ungleichartigen Gebilde im Muskelbündel, statt im ganzen Muskel, eine und dieselbe mit der in der cylindrischen Vorrichtung sei. Wie man sich erinnert, stellten wir uns, beim Entwurf des Muskelschema's, die doppelte Aufgabe, es solle eine Anordnung ungleichartiger Gebilde enthalten, welche fähig wäre, nach dem Gesetze des Muskelstromes elektromotorisch zu wirken; zugleich aber müsse sie der Bedingung Genüge leisten, dafs sie, querdurchschnitten, auf jedem Querschnitte alsbald wieder dieselben negativen Eigenschaften wie vorher entfalte (S. oben S. 561. 585). Denn der künstliche Muskelquerschnitt zeigt die schwachen Ströme, welche über dieser Flächenbegrenzung, bei alleiniger Berührung ihrer Punkte, vorkommen; was von gröfseren Vereinigungen der Muskelbündel gilt, lassen wir in gleicher Weise von dem einzelnen Bündel gelten; unser Schema mufs also im Stande sein, gleichfalls, querdurchschnitten, stets die schwachen Ströme des Querschnittes zu zeigen, wenn es dem Muskel-

bündel genau entsprechen soll. Bei dem Durchschneiden der Länge nach haben wir keine Forderungen der Art mehr an dasselbe zu stellen, weil wir, in dieser Hinsicht, auch am Muskelbündel durch den Versuch nicht tiefer einzudringen vermögen. Wir vermögen nicht, einen Muskel so der Länge lang zu spalten, dafs der Schnitt überall Inneres der einfachen Bündel bloslegt, und man mufs nicht übersehen, dafs zwar, was wir künstlichen Querschnitt nennen, wirklich solcher des Gesammtmuskels sowohl als des einfachen Bündels ist, dafs aber die Begrenzung, die als künstlicher Längsschnitt bezeichnet wird, ihrer Bedeutung im Grunde nur für den Gesammtmuskel entspricht, für das einfache Bündel hingegen immer noch gleichsam natürlichen Längsschnitt vorstellt.

Schneiden wir nun unsere cylindrische Vorrichtung, in ihrem jetzigen Zustande, senkrecht auf ihre Längenaxe durch, so erfüllt sie mit nichten die gestellte Bedingung. Wir haben alsdann eine reine Kupferfläche vor uns, welche niemals die schwachen Ströme des Querschnittes von sich geben wird, wenn wir die beiden Enden des unwirksamen leitenden Bogens an sie legen. Dazu fehlt ihr nämlich, der obigen Bemerkung gemäfs, gerade die Schicht eines unwirksamen feuchten Leiters, auf deren Gegenwart das Vorhandensein jener schwachen Ströme beruht.

Die Lösung der Aufgabe ist also, in ihrer jetzigen Verfassung, als verfehlt zu betrachten, so wie das gewonnene Schema ein Muskelbündel selbst vorstellen soll. Zwar ist noch ein Ausweg übrig, auf dem sie, dem Anscheine nach, ziemlich bequem zu retten wäre. Er besteht darin, anzunehmen, was oben S. 560 schon einmal als wahrscheinlich bezeichnet wurde, dafs jeder künstliche Querschnitt sich alsbald nach der Zurichtung in Folge der erlittenen Verletzung, des Zutrittes der Luft u. d. m. durch Absterben mit einer Schicht unwirksamen Leiters überzieht. Oder man könnte sich auch denken, dafs die durchschnittenen Bindegewebehüllen, ja die Hüllen des einfachen Muskelbündels selbst, durch die Gewaltthätigkeit bei der Darstellung des Querschnittes zum Theil über diesen fort gezogen und gedrückt werden, und so die Rolle jenes unentbehrlichen Ueberzuges, der Sehne beim natürlichen Querschnitt entsprechend, übernehmen. Auf diese Weise würden die schwachen Ströme des Querschnittes nach Wunsch wieder erreicht, und für etwaige bei ihrer Beobachtung sich einstellende Unregelmäfsigkeiten zugleich ein gefälliger Entschuldigungsgrund gesichert sein.

Indessen dürfen wir es bei dieser Ausflucht nicht so leicht bewenden lassen. Nothwendig mufs, ehe wir uns dabei beruhigen, die oben S. 587 bereits angedeutete Untersuchung durchgeführt werden, in Be-

treff der Möglichkeit nämlich, »dafs erstens verschiedene Anordnungen »ungleichartiger Gebilde eine und dieselbe allgemeine Form des Strö»mungsvorganges bedingen könnten, und dafs zweitens gar verschiedene »Formen des ursprünglichen Strömungsvorganges bei Abwesenheit des »Bogens, innerhalb gewisser Grenzen eine und dieselbe Erscheinungs»weise der abgeleiteten Ströme in dem angelegten Bogen zur Folge zu »haben vermöchten.« Es ist ja denkbar, dafs sich unter diesen Anordnungen ungleichartiger Gebilde, wenn es dergleichen giebt, eine oder mehrere finden, welche, indem sie sich befähigt zeigen, nach dem Gesetze des Muskelstromes elektromotorisch zu wirken, zugleich die Bedingung erfüllen, für welche das einfach cylindrische Schema sich ungenügend erwies, diejenige nämlich, querdurchschnitten wiederum auf jedem Querschnitte die schwachen Ströme, die dieser Flächenbegrenzung zukommen, entfalten zu können.

Ehe wir uns in diese Untersuchung einlassen, haben wir uns jedoch noch hinsichtlich einer Willkür zu rechtfertigen, über die wir im Vorigen stets, der Einfachheit halber, ohne Weiteres fortgeschritten sind. Man erinnert sich, dafs nur in dem Falle, wo Elektroden von endlicher Ausdehnung zugleich ein aufserordentlich überlegenes Leitungsvermögen im Verhältnisse zu dem eines nicht prismatischen Leiters besitzen, in den sie Elektricität ergiefsen, ihren verschiedenen Punkten gleiche Spannung zugeschrieben werden darf, so dafs die Grenzen der Elektroden selbst die ersten isoëlektrischen Oberflächen von jeder Seite her abgeben. Hierauf fufsend, haben wir sämmtlichen Punkten des Mantels unserer cylindrischen Vorrichtung, und ebenso sämmtlichen Punkten ihrer Grundflächen, beziehlich einerlei Spannung in der Vorstellung ertheilt, und den Strömungsvorgang in der Hülle feuchten Leiters zu bestimmen gesucht, der die Folge dieser Anordnung sein müfste. Wir haben gefunden, dafs das Gesetz der Ströme, die von diesem Vorgange abgeleitet werden können, übereinkommt mit dem Gesetze des Muskelstromes. Die thierischen Erreger sind jedoch bekanntlich nicht metallischer Natur; nichts berechtigt uns, einzelnen Theilen derselben ein überlegenes Leitungsvermögen beizumessen, und es kann somit billig gefragt werden, ob wohl die elektromotorischen Wirkungen unseres cylindrischen Schema's noch mit denen eines Muskelbündels übereinkommen würden, wenn wir uns dasselbe, statt aus Zink und Kupfer, wie wir thaten, vielmehr aus ungleichartigen Leitern der zweiten Klasse, wie es für die Muskeln der Fall ist, zusammengesetzt vorstellen?

Was dies betrifft, so sieht man jedoch, dafs, für den Mantel des Cylinders, die Schwierigkeit fortfällt, weil in demselben, wegen des überall in gleicher beliebig geringer Tiefe darunterliegenden negativen

Kettengliedes, die Elektricitätsbewegung auch überall senkrecht auf seine Fläche geschehen mufs; er ist also wirklich, von dieser Seite her, erste isoëlektrische Oberfläche. Die Grundflächen anlangend aber, ist eben so leicht zu zeigen, dafs, wenn wir uns an die Stelle des Kupfers, ein negatives Kettenglied von ähnlichem eigenthümlichem Widerstande denken, wie ihn die den Cylinder umgebende Flüssigkeit selber besitzt, dieselben zwar nicht mehr erste isoëlektrische Oberflächen von der negativen Seite her sein werden, aber doch wenigstens, was für uns ganz auf Eins hinausläuft, annähernd isoëlektrische Oberflächen überhaupt. Wir denken uns den Sitz des beständigen Spannungsunterschiedes, auf dessen Dasein der Strom beruht, in einer dem Mantel concentrisch und ihm sehr nahe gelegenen Oberfläche, in der die beiden ungleichartigen Stoffe einander berühren. Die Anordnung würde also hinsichtlich der Form der Elektricitätsvertheilung mit derjenigen zusammenfallen, die man erhielte, wenn man eine Kupfer- und eine Zinkplatte in ihrer Fläche aufeinanderlöthete, sie zu einem geschlossenen Rohre zusammenböge, und centrisch in eine cylindrische Masse eines feuchten Leiters versenkte. Wie der Strömungsvorgang an einem solchen Erregerpaare beschaffen ist, wenn es noch in einer Ebene ausgestreckt sich findet, sind wir dem Vorigen nach, zu ermessen im Stande und haben sogar die thatsächliche Untersuchung über diesen Punkt oben S. 618 bereits im Vorübergehen angestellt. Hiernach hält es nicht schwer, zu ermitteln, was nun die Folge für das röhrenförmig zusammengerollte sein wird. Ich habe dies, im Längendurchschnitt, in Fig. 62 anzudeuten versucht. Man sieht, dafs der Querschnitt des Rohres mehr oder weniger nah, wenn nicht völlig, mit einer isoëlektrischen Oberfläche zusammenfallen wird, und zwar wird dieses um so mehr eintreffen, je kleiner derselbe ist.

Wir waren demnach im Obigen wirklich in unserem Rechte, wenn wir den Unterschied der Leitungsfähigkeiten der ungleichartigen Gebilde im Muskelbündel und derjenigen in der cylindrischen Vorrichtung vor der Hand aufser Acht liefsen; und dem Umstande, dafs, trotz jenem Unterschiede die Gesetze der abgeleiteten Ströme an beiden übereinstimmen, läfst sich nicht etwa, wie es auf den ersten Blick scheinen könnte, ein Grund entnehmen, gerade wegen dieser Uebereinstimmung die Einerleiheit der Anordnung der ungleichartigen Gebilde in beiden, den natürlichen und den künstlichen Erregern, in Zweifel zu stellen.

## 7. Theorie der Ströme des Querschnittes eines zusammengesetzten Muskelbündels.

Jetzt würde es sich darum handeln, die Untersuchung zu eröffnen, deren Plan bereits oben S. 586. 638 angedeutet wurde: die Möglichkeit nämlich in Erwägung zu ziehen, dafs die Anordnung der ungleichartigen Gebilde im cylindrischen Schema nicht die einzige sei, welche abgeleitete Ströme nach dem Gesetze des Muskelstromes abzugeben vermöchte. In dieser Fassung erscheint die vorliegende Aufgabe jedoch so unbestimmt, der theoretische sowohl als der experimentelle Weg zur Prüfung einer muthmafslichen Lösung derselben sind, wie wir gesehen haben, so gleich schwierig zu betreten, dafs wir an dieser Stelle völlig rathlos dastehen würden, wenn es uns nicht gelingen sollte, irgendwo einen Anhaltspunkt für unsere Bestrebungen von vorn herein ausfindig zu machen. Glücklicherweise werden wir desselben hier eben so wenig entbehren, als da es zuerst galt, das einfach cylindrische Schema eines Muskelbündels zu entwerfen. Auf dieses geriethen wir mit Hülfe der Ueberlegung, dafs das einfache Bündel, welches es vorstellen sollte, am Mantel positiv, am Querschnitte negativ, und mit einer Hülle unwirksamen feuchten Leiters umgeben sei. Jetzt zeigt es sich, dafs wir schon seit lange, ohne darauf geachtet zu haben, im Besitze einer zweiten Anordnung sind, welche nach dem Gesetze des Muskelstromes elektromotorisch zu wirken vermag, und zwar liegt uns eine solche in dem Gesammtmuskel selbst, wie in jedem Bruchstücke desselben vor, welches der Axe nach und senkrecht darauf abgespalten und aus mehreren einfachen Bündeln zusammengesetzt ist.

In der That, der Gesammtmuskel selbst, und jedes derartige Bruchstück desselben, wirken elektromotorisch in dem Sinne des Gesetzes, welches ja an ihnen entdeckt wurde. Daraus schliefsen wir, dafs, wenn wir eine beliebige Anzahl von solchen Cylindern, wie wir einen zu unserem ersten Schema verwendeten, bündelförmig zusammenfassen und sie, ohne dafs sie in metallische Berührung gerathen, in eine entsprechend gestaltete Masse feuchten Leiters versenken, diese Anordnung noch immer, gleich einem jeden der sie zusammensetzenden Cylinder mit seiner feuchten Hülle, d. h. nach dem Gesetze des Muskelstromes thätig sein werde. Unter der Voraussetzung also, dafs jeder künstliche Querschnitt sich alsbald durch Absterben mit einer Schicht eines unwirksamen feuchten Leiters überzieht, kann eine Anordnung wie die ebenerwähnte als Schema des Gesammtmuskels sowohl als auch eines jeden einfachen Bündels betrachtet werden, welches alsdann nicht mehr, wie bisher, einer einzigen, sondern beliebig vielen, bündelförmig zusammengefafsten cylin-

drischen Vorrichtungen von der oft beschriebenen Art zu vergleichen sein würde.

Als Schema des Gesammtmuskels genügt diese Anordnung der Bedingung vollständig, welche das einfach cylindrische Schema, wenn ihm diese Bedeutung beigemessen wurde, für den Längsschnitt, wie man sich erinnert (S. oben S. 635), unerfüllt liefs: derjenigen nämlich, beim Zerspalten der Axe nach und senkrecht darauf stets wieder in solche Bruchstücke zu zerfallen, die nach dem Gesetze des Muskelstromes elektromotorisch thätig sind.

Es scheint auf den ersten Blick nicht, als ob mit der Möglichkeit, sich die Anordnung der ungleichartigen Gebilde im Innern des einfachen Bündels in dieser doppelten Weise vorzustellen, viel Neues für uns gewonnen wäre. Nichtsdestoweniger liegt in diesem Kreise von Betrachtungen der Keim zu einer äufserst fruchtbaren Einsicht, zu der wir uns nunmehr den Weg bahnen werden, indem wir etwas näher auf die Untersuchung der Art und Weise eingehen, wie das Gesetz des Muskelstromes an einer solchen, bündelförmig aus einzelnen cylindrischen Vorrichtungen zusammengesetzten Gesammtvorrichtung, oder dem entsprechend am Gesammtmuskel, zu Stande kommt: ein Punkt, über den wir bisher völlig unachtsam hinweggestiegen sind, obschon er keineswegs ohne alle Bedenklichkeiten ist.

Dafs, beim Anlegen eines unwirksamen leitenden Bogens an verschiedene Punkte des Längsschnittes einer solchen Anordnung, die schwachen Ströme des Längsschnittes in gewohnter Weise sich einstellen werden, versteht man zwar leicht. Ebenso ist es klar, dafs man, beim Berühren von Längs- und Querschnitt, einen ungleich stärkeren Strom in derselben Richtung erfolgen sehen mufs. Dunkel aber erscheint einigermafsen das doch durch die Erfahrung am Muskel bereits beglaubigte Dasein der schwachen Ströme des Querschnittes.

Der Querschnitt des Gesammtmuskels bietet zwischen seinen verschiedenen Punkten schwache Ströme dar, in der allgemeinen Richtung von seinem Umfange oder der Grenze des Längsschnittes nach seinem Mittelpunkte. Ihr Gesetz kommt überein mit demjenigen, welches wir für die Ströme an der Grundfläche des cylindrischen Schema's durch die Betrachtung sowohl als durch die Erfahrung erkannt haben. Nichtsdestoweniger ist es aufser Zweifel, dafs der Bau des Querschnittes des Gesammtmuskels ein ganz verschiedener ist von dem der negativen Grundfläche des cylindrischen Schema's. Diese zeigt, unter der Schicht feuchten Leiters, eine reine zusammenhängende Kupferfläche; der Querschnitt des Muskels aber, oder seines Schema's, ist, wegen der Hüllen der einfachen Muskelbündel oder der sie ersetzenden Cylinder, vielmehr

einer Mosaik negativer Grundflächen zu vergleichen, welche in ein Maschennetz aus einem unwirksamen leitenden Stoffe gleichsam als Kitt eingelassen, und aufserdem mit einer Schicht desselben Stoffes übergossen wären. Die Fig. 63. Taf. VI ist bestimmt, diese Anordnung schematisch zu versinnlichen: man sieht darin gleichsam auf den Querschnitt eines zusammengesetzten Bündels einfach cylindrischer Vorrichtungen; die von einem jeden mitgebrachte Hülle in Gestalt eines sechsseitigen Prisma's ist durch punktirte Linien angedeutet; über der negativen Grundfläche eines jeden am Mantel verzinkt zu denkenden Kupferstabes verlaufen, wie die Figur zeigt, Ströme in der Flüssigkeitsschicht vom Umfange nach dem Mittelpunkte hin, und zu erklären endlich ist, wie es komme, dafs man, beim Anlegen der beiden Enden eines Bogens an zwei Punkte jener Schicht, Ströme in der nämlichen Richtung in Bezug auf Umfang und Mittelpunkt des Gesammtquerschnittes erhält, nämlich von dem dem Umfange näheren zu dem davon entfernteren, der Mitte näher gelegenen Punkte. Man sollte vielmehr meinen, es müsse der Gesammtquerschnitt sich gleichförmig negativ verhalten, so dafs die Vorrichtung zwar die Ströme des Längsschnittes allein, wie auch diejenigen zwischen Längs- und Querschnitt zugleich gewähren, diejenigen des letzteren allein hingegen versagen würde. Man ist aufser Stande sich zu denken, dafs die abgebildeten radialen Strömungen über den einzelnen Grundflächen sich zu einer radialen Resultante über der Gesammtgrundfläche zusammenzusetzen vermöchten; und es hält nicht schwer, mit Bestimmtheit zu zeigen, dafs dem auch wirklich nicht so sein könne.

Man erinnere sich des oben S. 582. 583 angewendeten Grundsatzes: Wenn zwei Massen eines Leiters, in denen ein irgendwie beschaffener Strömungsvorgang stattfindet, dergestalt zusammengefügt werden, dafs in allen Berührungspunkten isoëlektrische Curven von gleicher absoluter Spannung aufeinandertreffen, bleibt das dynamische Gleichgewicht der Elektricität in beiden ungestört; sie findet keinen Grund, aus der einen Masse in die andere überzufliefsen, die Strömungsvorgänge sind fort und fort auf allen Punkten dieselben geblieben, und die Berührungsfläche selbst ist von einer Grenz- einfach zu einer Strömungsfläche geworden. Endlich, da in jedem bestimmten Falle die Elektricitätsvertheilung auch nur eine bestimmte sein kann, so hat man durch das Zusammenfügen in der That die Beschaffenheit des Vorganges erkannt, wie er sein würde, wenn er, statt einzeln in jeder der beiden Massen vor ihrer Vereinigung, erst nach derselben, oder in der von vorn herein ungetheilten Gesammtmasse erregt worden wäre.

Dieser Grundsatz ist geeignet, uns hier über den Vorgang in dem

Bündel cylindrischer Vorrichtungen Aufklärung zu verschaffen. Man sieht leicht, dafs, wenn dieselben, wie die Figur es zeigt, mit gleichen sechsseitigen Hüllen feuchten Leiters versehen sind, und so aneinandergefügt werden, dafs Seite an Seite regelmäfsig stöfst, durch das Verschmelzen der Vorrichtungen zu einem Ganzen nicht die leiseste Störung der Einzelvorgänge herbeigeführt werden kann, woraus die Unmöglichkeit der vorerwähnten radialen Resultante über dem Gesammtquerschnitte genügsam in die Augen springt. Es herrscht folglich über demselben kein solcher Strömungsvorgang, wie wir ihn über dem Querschnitte der einfach cylindrischen Vorrichtung erkannt haben, und wir sind also bereits zur Bestätigung auch der zweiten oben S. 586. 638 offen gelassenen Möglichkeit gelangt, dafs »verschiedene Formen des ursprüng»lichen Strömungsvorganges bei Abwesenheit des Bogens, innerhalb »gewisser Grenzen eine und dieselbe Erscheinungsweise der abgeleiteten »Ströme in dem angelegten Bogen zur Folge zu haben vermöchten.«

In der That, es bleibt uns nichts übrig, als zu untersuchen, wie es geschehen könne, dafs, während bei Abwesenheit des Bogens keine Ströme auf dem Gesammtquerschnitt herrschen, dennoch dergleichen in dem angelegten Bogen, und zwar in der durch das Gesetz des Muskelstromes bestimmten Weise, sich kund geben mögen. Hiezu wird es jedoch zweckdienlich sein, die im Vorigen betrachtete, etwas verwickelte Anordnung zu verlassen, und uns an eine solche zu halten, wo die Elektricitätsbewegung nur nach zweien Richtungen hin stattfindet.

Die Fig. 64 zeigt perspectivisch ein Stück einer solchen Anordnung, wie ich sie, um in diesem dunklen Gegenstande nicht länger des Versuches als Wegweisers und Bürgen für die Richtigkeit meiner Schlüsse zu entbehren, wirklich anfertigen liefs. Ich liefs eine gewisse Anzahl Kupferbleche von 42$^{mm}$ Länge und 25$^{mm}$ Breite senkrecht auf ihre langen Seiten zwiefach dergestalt rechtwinklig liegen, dafs sie drei Seiten eines hohlen Prisma's von quadratischem Querschnitte und 14$^{mm}$ Seite vorstellten. Auf die mittlere dieser drei Seiten, welche jede ein Viereck von 25$^{mm}$ Länge und 14$^{mm}$ Breite bildeten, wurde eine 1$^{mm}$ dicke Zinkplatte von gleichen Mafsen aufgelöthet und amalgamirt. Die inneren Wände aller Stücke wurden mit Bernsteinlack gefirnifst. Endlich kittete[1] ich ihrer eilf, das Zink nach Aufsen gewendet, mit den beiden scharfen Rändern der umgebogenen Kupferseiten auf die eine Fläche

[1] Der Kitt, dessen ich mich zu diesen, wie zu den vielen ähnlichen Versuchen der Art bedient habe, denen wir im Laufe dieser Untersuchungen noch begegnen werden (Vergl. unten, Kap. X. §. III.), ist beiläufig das für jeden Experimentator unschätzbare Gemisch von etwa zwei Theilen Kolophonium mit einem Theile gelben Wachses.

einer 182$^{mm}$ langen, 25$^{mm}$ breiten, gefirnifsten Holzleiste, welche an der Rückseite ein Gegengewicht trug, dergestalt auf, dafs die beiden äufsersten von dem Ende der Leiste um halb so viel entfernt waren, als von ihren beiden Nachbaren und als alle übrigen unter sich. Dabei betrug also die Entfernung zweier Glieder von einander 2.5$^{mm}$, die Entfernung eines jeden der beiden äufsersten von der Seitenwand etwa 1.3$^{mm}$. Diese Abstände sind in der Figur, um deren Deutlichkeit nicht zu beeinträchtigen, sehr vergröfsert worden.

Die so vorbereitete Leiste stellte ich in einen Porzellantrog von 182$^{mm}$ Länge, 119$^{mm}$ Breite und 40$^{mm}$ Tiefe im Lichten, dessen Länge sie also gänzlich einnahm. Zwischen der Zinkfront aller Glieder und der einen langen Wand des Troges liefs ich etwa 35$^{mm}$ Abstand, so dafs die dem Leser bereits wohlbekannten, 25$^{mm}$ breiten Ableitungsplatten (S. oben S. 597) bequem darin spielen konnten. Die Klemmen, welche dieselben trugen, ruhten mit dem einen Ende auf der einen langen Seitenwand des Troges, mit dem anderen auf einer seidenen Schnur, welche dieser Wand parallel in angemessener Entfernung davon über die zwei kurzen Wände des Troges gespannt war. Der Trog wurde 25$^{mm}$ hoch, also bis an den oberen Rand der Elemente, mit Brunnenwasser gefüllt.

Fig. 65 sodann stellt dieselbe Vorrichtung im Grundrisse schematisch vor. Was mit derselben gemeint sei, hat man wohl bereits übersehen. Sie ist einem Stücke der Vorrichtung Fig. 63 zu vergleichen, wie man es erhalten würde, wenn man durch die Axe derselben zwei einander parallele Ebenen in so kleinem Abstande legte, dafs die dadurch abgeschnittenen Stücke der Cylinder keine merkliche Wölbung mehr an ihren dem Mantel angehörigen Begrenzungen zeigten. Diese unsere neue Vorrichtung mufs die Ströme zwischen asymmetrisch zur Mitte gelegenen Punkten gerade eben so gut geben, wie die Anordnung Fig. 63. Bei Abwesenheit des Bogens aber wird die Flüssigkeitsschicht vor der Zinkfront sämmtlicher Elemente ebensowenig von einem allgemeinen Strome durchflossen sein, als der Gesammtquerschnitt jener Anordnung. Zu diesem Behuf ist der Abstand der Elemente unter einander doppelt so grofs gewählt worden, als der der beiden äufsersten Glieder von den Enden der Leiste, oder den kurzen Wänden des Troges. So nämlich kann man sich vorstellen, dafs jedes Glied eine vor dem Zink und vor den beiden Kupfern beziehlich gleich dicke Hülle feuchten Leiters mit zur Gesammtvorrichtung gebracht habe. In den Querebenen, die den Abstand der Kupferwände je zweier Glieder von einander halbiren (S. $a\alpha$, $b\beta$, $c\gamma$, .... in der Figur), verschmelzen die Partialvorrichtungen in einander; weil aber hier auf allen Punkten

isoëlektrische Curven von gleicher absoluter Spannung sich treffen, bleiben die Strömungsvorgänge in jeder derselben durch die Vereinigung ganz ungestört, es findet kein Uebergreifen des einen in den anderen über seine frühere Grenze hinaus statt.

Die Anordnung der isoëlektrischen Curven in der Flüssigkeitsschicht, welche die Folge dieser Anordnung ungleichartiger Gebilde sein wird, findet sich gleichfalls in Fig. 65 angedeutet. Da dieselbe ganz unabhängig davon ist, ob die Front sämmtlicher Elemente mit Zink und ihre Seitenwände mit Kupfer bekleidet sind, oder ob das Gegentheil der Fall ist, so bedarf es wohl keiner weiteren Rechtfertigung, wenn wir uns zur Vergegenwärtigung der Verhältnisse des Querschnittes einer Vorrichtung bedienen, an welcher das positive Metall die Front der Elemente, das negative ihre Seitenwände bildet, trotz dem, dafs am Querschnitte die entgegengesetzte Vertheilung herrscht. Dies zieht keine andere Störung nach sich, als dafs die Ströme, bei sonst ganz gleichen Gesetzen, die umgekehrte Richtung von der im anderen Falle haben; ein Umstand, von dem begreiflich leicht abgesehen werden kann.

Untersuchen wir jetzt, was erfolgen wird, wenn wir den unwirksamen leitenden Bogen, in gewohnter Weise in zwei mit Fliefspapier bekleidete Platinplatten endigend, der Flüssigkeitssäule vor der Front der sämmtlichen Glieder anlegen. Nehmen wir zuerst eine symmetrische Stellung desselben zur Mitte der Vorrichtung, und eine beständige Entfernung beider Platinplatten an. Bei symmetrischer Stellung schmiegen sich den Fufspunkten des Bogens sichtlich isoëlektrische Curven von gleicher absoluter Spannung an, es findet kein Strom im Bogen statt. Verschieben wir nun die Platinplatten langsam der Front der Elemente entlang, und es beträgt die beständige Entfernung derselben ein gerades Vielfaches des halben Abstandes zwischen den Querebenen $a\alpha$, $b\beta$, $c\gamma$ u. s. w., oder der halben Breite einer der Partialvorrichtungen, aus denen man sich das Ganze zusammengesetzt denken kann, so möchte es auf den ersten Blick fast scheinen, als könne nie ein Strom entstehen, weil sich stets Curven gleicher absoluter Spannung an die Fufspunkte des Bogens anschliefsen müssen. Ströme müssen dagegen beim Verschieben der Enden des Bogens entstehen, so wie die Entfernung der Platinplatten eine andere ist; denn nun werden sich unter Umständen Curven von ungleicher absoluter Spannung den Fufspunkten des Bogens anschliefsen. Diese Ströme würden, beim Verschieben der Vorrichtung entlang, sichtlich abwechselnd die eine und die andere Richtung haben müssen, je nachdem die der Mitte nähere innere Platte mehr vor der Front eines Elementes, die äufsere hingegen, dem einen Ende der Vorrichtung nähere mehr vor der Lücke zwischen zwei Ele-

menten befindlich ist oder umgekehrt. Kommen beide Platten auf ihrer Wanderung aber symmetrisch zu der Mitte sei's der Front eines Elementes, sei's der Lücke zwischen zweien solchen zu stehen, so wird der Strom Null. Seine gröfste Stärke scheint er erlangen zu müssen, wenn die Spannweite des Bogens ein ungerades Vielfaches von der halben Breite einer der Partialvorrichtungen beträgt, aus denen das Ganze zusammengesetzt zu denken ist.

So sollte man auf den ersten Blick schliefsen; man sollte daher nicht meinen, dafs der Bogen, wie vor einer an beiden Enden von Kupfer begrenzten Zinkplatte (S. oben S. 617. Fig. 55. 56. Taf. V), bei seiner Verschiebung aus der symmetrischen Stellung vor der Mitte der Gesammtvorrichtung in dem Sinne dieser Verschiebung von einem Strome durchflossen sein werde, hier also einem von der inneren nach der äufseren Platte kreisenden Strome, dessen Stärke mit der Gröfse der Verschiebung und der Spannweite des Bogens wächst. Nichtsdestoweniger hat man sich getäuscht; gerade dieses ist der Fall, jenes nicht. Man findet in der That, dafs sich die Gesammtzinkfront sämmtlicher Glieder elektromotorisch völlig so verhält, wie die eben in Erinnerung gebrachte Zinkplatte eines flachen Doppelerregerpaares, dessen beide einfachen Erregerpaare mit Zink aneinandergefügt sind. Bei symmetrischer Stellung des Bogens zur Mitte findet sich kein Strom vor, oder nur ein schwacher in ganz unbeständiger Richtung; verschiebt man, bei beständiger Spannweite, nach dem einen oder dem anderen Ende hin, so zeigen sich Wirkungen in der Richtung der Verschiebung. Sie sind freilich äufserst schwach und vergänglich, was zum Theil wohl wieder der doppelten Polarisation zuzuschreiben ist, wovon die eine an den kleinen Kupferflächen hier gewifs eine sehr beträchtliche Höhe erreicht; indessen sie sind unverkennbar vorhanden, sie schwellen nach den Enden der Vorrichtung hin deutlich an, und ihre Stärke erscheint am bedeutendsten, wenn die Spannweite des Bogens die Hälfte der Länge der ganzen Zinkfront beträgt. Die obigen Voraussichten dagegen fangen erst dann verwirklicht zu werden an, wenn die Abstände der einzelnen Glieder von einander sehr grofs gewählt worden sind, wenn sie z. B. 8—10$^{mm}$ betragen. Alsdann zeigt es sich, dafs die vor der Mitte eines Gliedes befindliche Platte sich stets weniger negativ verhält gegen die vor der Lücke zwischen zweien Gliedern aufgestellte andere Platte, als es der Anordnung beider nach vor der Gesammtfront der Fall sein sollte, und umgekehrt; so dafs die Curve der Stromstärken in dem Bogen von beständiger Spannweite, bei seinem Verschieben dieser Front entlang, ein gewelltes Ansehen erhält, während zugleich die allgemeine Steilheit derselben abgenommen hat (S. Fig. 66. Taf. V).

Bei wachsendem Abstande der Glieder bleiben zuletzt nur noch die Aus- und Einbiegungen der Curve deutlich zurück. Diese sind übrigens um so ausgesprochener, je näher man mit den Ableitungsplatten an die Elemente hinangeht. Sie lassen sich ganz vermeiden, wenn man die Ableitungsplatten, statt senkrecht auf die Front der Elemente, derselben vielmehr parallel stellt. Alsdann wird annähernd das Verhältnifs verwirklicht, wie es am Muskel stattfindet, wo die Ausdehnung der einzelnen Glieder gegen diejenige der Fufspunkte des Bogens stets sehr gering ist, so dafs die Unterschiede der Spannungen, die über den verschiedenen Punkten eines Gliedes, oder des Zwischenraumes zwischen zweien Gliedern herrschen, völlig aufser Betracht kommen. — Wird, an vorliegendem Schema, gar die eine Platte in den Zwischenraum zwischen zweien Gliedern hineingestellt, so verhält sie sich, auch bei dem kleinsten dabei noch möglichen Abstande aller Glieder unter sich, stets negativ gegen die andere Platte. Diese Wirkung ist derjenigen zwischen Längs- und Querschnitt am Muskel, oder zwischen Mantel und Grundfläche an unserem einfach cylindrischen Schema zu vergleichen; der starke Strom, den man erhält, wenn man die äufsere Platte in den Zwischenraum zwischen der Kupferwand des letzten Gliedes und der Seitenwand des Troges hineinstellt, kann als besonderer Fall derselben betrachtet werden.

Es handelt sich jetzt darum, den Widerspruch zu lösen, der hier zwischen dem Ergebnisse der nach den Spannungsprincipien geführten Betrachtung und dem des Versuches stattzufinden scheint. Es ist klar, dafs wir, bei Anwendung jener Grundsätze, einen Fehler begangen haben müssen. Dieser Fehler besteht darin, dafs wir die Veränderung der Elektricitätsvertheilung, oder die Verzerrung der isoëlektrischen Curven aufser Acht gelassen haben, welche die Folge der Anbringung des Bogens an die Vorrichtung ist. Ich mufs gestehen, dafs ich nicht im Stande bin, von den Spannungsprincipien ausgehend, diesen Einflufs des Bogens zu ermessen, um daraus den Erfolg des Versuches zu erklären. Einigermafsen aber geht dies von statten, sobald es vergönnt ist, das gleichbedeutende, und in manchen Fällen einer leichteren Handhabung fähige Princip der Superposition oder der Deckung der Ströme an die Stelle jener Grundsätze treten zu lassen.

Dieses lehrt bekanntlich, dafs, um die Resultirende aus einer beliebigen Anzahl elektromotorischer Wirkungen an einer gegebenen Stelle eines beliebig gestalteten Complexes prismatischer Leiter zu bestimmen, nichts weiter nöthig sei, als die Componenten, welche von den einzelnen Erregungsstellen ausgehen, jede für sich zu berechnen, als ob keine andere Erregung vorhanden wäre, und sie dann algebraïsch, d. h. mit

Berücksichtigung ihrer Zeichen, zu summiren; indem eine jede Erregungsstelle, sowie ein jeder andere bereits durchflossene Punkt des Leiters, sich für den Strom, den eine andere Erregungsstelle aussendet, einfach leitend verhält. Die Regel des algebraïschen Summirens gilt dabei begreiflich nur für prismatische Leiter, in welchen die Elektricitätsbewegung nur nach einer Richtung stattfindet; treffen sich die Ströme unter anderen Winkeln als solchen von 0° und 180°, so wird sich für die Zusammensetzung irgend eine noch unbekannte Vorschrift, vielleicht gleichfalls ganz einfach das Parallelogramm der Kräfte, geltend machen. Diese Vorschrift mufs sich bereits aus den durch Kirchhoff bestimmten Gesetzen der Elektricitätsvertheilung in einer unbegrenzten oder kreisförmigen Ebene, wenn eine beliebige Anzahl beliebig gestellter Elektroden in sie münden, entnehmen lassen. Uns würde diese genaue Kenntnifs sehr überflüssig sein, da wir unmöglich die Bahn der sich zusammensetzenden Ströme zu ermitteln vermöchten; wir müssen uns wiederum, wie schon seither immer, mit dem begnügen, was die blofse Anschauung gewährt.

Dafs, bei Abwesenheit des Bogens, die Strömungsvorgänge in den Partialvorrichtungen des uns beschäftigenden Schema's jeder auf die ihm angehörige eingeschränkt bleiben, so dafs keinerlei Art von Gesammtstrom vor der Zinkfront der Vorrichtung herrscht, läfst sich, mit Hülfe des Grundsatzes der Deckung der Ströme, folgendermafsen einsehen. Wir müssen uns, zu diesem Zwecke, zuerst die Form des Strömungsvorganges im Allgemeinen verdeutlichen, den ein einzelnes unserer Elemente durch den ganzen Trog sendet. Die Strömungscurven steigen von der Zinkfront auf, nähern sich der gegenüberliegenden Wand des Troges, weichen hier nach beiden Seiten auseinander, und begeben sich, dieser Wand, dann den kurzen Seitenwänden, und endlich der Leiste entlang nach dem Kupfer zurück. Da in jeder Querebene der Schicht feuchten Leiters dabei eine Strömungscurve umbiegt, so ist zugleich klar, dafs die Dichtigkeit des Strömungsvorganges mit der Entfernung von dem Elemente, welches ihn hervorbringt, in einem umgekehrten Verhältnisse sich verändert. Steht das Element in der Mitte der Leiste, so ist alles symmetrisch angeordnet; dies hört auf der Fall zu sein, wenn jenes verschoben wird, und zwar ist jetzt der Strom auf der Seite, wo sich die gröfsere Masse feuchten Leiters befindet, stärker, als auf derjenigen, wo seine Bahn an Querschnitt verloren hat. Betrachten wir nun, was in der mittleren Querebene der Vorrichtung, bei Anwesenheit einer beliebigen Anzahl Elemente, vor sich geht. Ist diese Anzahl eine gerade, so schickt von jeder Seite eine gleiche Anzahl von Elementen einen gleich starken Strömungsvorgang in entgegengesetztem Sinne durch die Ebene. Die Stromcomponente senkrecht auf die Ebene

wird also, in ihr selber, Null sein, und dies fährt fort zu gelten, auch wenn man eine ungerade Gliederzahl voraussetzt, wo dann die Wirkung des mittleren Elementes, auf dieselbe Weise zerlegt, in der dasselbe halbirenden Ebene gleichfalls Null ist. Jetzt betrachten wir, statt der mittleren Querebene, eine der Ebenen $a\alpha$, $b\beta$, $c\gamma$ .... in unserer Fig. 65. Den Spannungsprincipien nach, sollen dieselben gleichfalls Strömungsflächen sein, d. h. die Stromcomponente senkrecht auf dieselben mufs in ihnen Null sein. Auf den ersten Blick scheint dies nach dem Grundsatze der Deckung der Ströme nicht wohl möglich, weil ja von der einen Seite eine kleinere, von der anderen eine gröfsere Anzahl Glieder ihren Strömungsvorgang durch die Ebene schickt; man sollte meinen, dafs man in der betrachteten Querebene den allerdings durch die Entfernung mehr oder weniger geschwächten Strom haben müfste, der von den überschüssigen Gliedern der zahlreicheren Gruppe herrührt. Allein man darf nicht unberücksichtigt lassen, dafs die Ströme, welche von der kleineren Anzahl ausgehen, wegen des gröfseren Querschnittes ihrer Bahn, in jener Ebene eine gröfsere Dichtigkeit besitzen, als die, welche von der gröfseren Anzahl herrühren. Freilich vermag man, mit der blofsen Anschauung, nicht zu ermessen, wie es geschehe, dafs der von der kleineren Gliederanzahl ausgehende Gesammtstrom nun auch wirklich in jedem Punkte der Ebene genau dieselbe Dichtigkeit besitzt, wie der von der gröfseren ausgesandte; aber man begreift wenigstens dergestalt die Möglichkeit, dafs dem so sein könne, und der Widerspruch, der hier zuerst zwischen den Ergebnissen der Betrachtung nach den Spannungsprincipien einerseits und nach dem Grundsatze der Deckung der Ströme andererseits obzuwalten schien, ist somit als geschlichtet anzusehen.

Dafs, bei symmetrisch zur Mitte der Vorrichtung an dieselbe angelegtem Bogen kein abgeleiteter Strom erhalten werden könne, bedarf, weder nach dem einen, noch nach dem anderen Princip, einer weiteren Erläuterung. Ehe wir aber an die Zergliederung des Strömungsvorganges in der Vorrichtung bei asymmetrisch an dieselbe angelegtem Bogen gehen, wird es uns nützlich sein, noch eine andere Anordnung in Augenschein zu nehmen, die hier getroffen werden kann und kein geringes Licht auf den so verwickelten Kreis von Erscheinungen zu werfen geeignet ist.

Bricht man, an dem einen Ende der Vorrichtung, eines oder mehrere Glieder der Reihe fort, oder denkt man sich den Abstand des Kupfers des letzten Gliedes von der benachbarten Seitenwand des Troges auf sonst eine Weise beliebig vergröfsert (S. Fig. 67. Taf. VI), so kann das Gleichgewicht zwischen den Partialvorrichtungen nicht mehr

ungestört bleiben. Man hat alsdann, an dem bezüglichen Ende, gleichsam eine letzte Partialvorrichtung angesetzt, welche den übrigen, in Betreff der Gestalt und Masse ihres feuchten Leiters, nicht mehr entspricht. In der Querebene, wo diese Vorrichtung mit der vorletzten, welche regelmäfsigen Bau besitzt, zusammentrifft, werden folglich nicht mehr überall isoëlektrische Curven von gleicher absoluter Spannung aufeinanderstofsen. Es wird also ein Uebergreifen des Strömungsvorganges der einen Partialvorrichtung über die Masse feuchten Leiters der anderen stattfinden müssen. Dadurch ist aber die ganze Elektricitätsvertheilung, auch in der regelmäfsig gestalteten, vorletzten Partialvorrichtung gestört, und es können folglich auch in der zweiten Querebene $b\beta$ nicht mehr Curven von gleicher Spannung einander treffen. So pflanzt sich die Störung von Partialvorrichtung zu Partialvorrichtung längs der ganzen Reihe fort; welcher Art diese Störung sei, kann man folgendermafsen ungefähr ermessen.

Es ist früher auseinandergesetzt worden (S. oben S. 573), dafs die Unterschiede der Spannungen zweier auf einer und derselben Strömungscurve gleichweit von einander gelegenen isoëlektrischen Curven im Allgemeinen um so beträchtlicher sei, je kürzer diese Curven selber sind; weil nämlich nur auf diesem Wege der Grundsatz der gleichen Stärke des Stromes in allen Querschnitten der Kette aufrecht erhalten werden kann. In einer Kette von ungleichem Querschnitt ihrer Enden wird also die isoëlektrische Oberfläche ohne Spannung oder von mittlerer Spannung stets nach dem Ende von kleinerem Querschnitt hin verschoben erscheinen. Demnach können z. B. in der letzten Partialvorrichtung der Gliederreihe bei Gegenwart einer Endlücke $mn$, $op$, statt $mn'$, $op$, Curven gleicher absoluter Spannung sein. Dadurch wird die ganze Anordnung der isoëlektrischen Curven aber, wie die Figur zeigt, nach Innen verzerrt, was man sich klar machen kann, indem man das Zusammentreffen der isoëlektrischen Curven von ungleicher absoluter Spannung in der auf die Mitte des Zinkes senkrecht gefällten Ebene $a'\alpha'$ in Erwägung zieht. Man kann sich ferner vorstellen, dafs diese Verzerrung in derselben Weise sich über die ganze Reihe fortpflanzt, und so wird es wenigstens denkbar, dafs in Folge davon sich ein Gesammtstrom vor der Zinkfront aller Glieder nach dem Ende hin kund geben könne, wo eines derselben ausgebrochen oder wo die Masse feuchten Leiters vergleichweise sonstwie vergröfsert worden ist: s. die Figur.

Nach dem Grundsatze der Deckung der Ströme gelangt man zu derselben Einsicht viel weniger umständlich mit Hülfe der Ueberlegung, dafs alle Strömungsvorgänge, welche die Glieder nach dem unverändert gebliebenen Ende der Vorrichtung hin senden, eine Strombahn von

kleinerem Querschnitt vor sich haben, als die in entgegengesetztem Sinne kreisenden: diesen kommt folglich überall das Uebergewicht zu.

Auf beide Weisen läfst sich begreifen, dafs der Strom in den Querschnitten der Flüssigkeitsschicht an Stärke zunimmt, wie man sich der Endlücke nähert. Nach den Spannungsprincipien liegt dies auf der Hand, wenn man nur die Fig. 67 in Augenschein nimmt; nach dem anderen Grundsatze hat man zu bedenken, dafs die hinzukommende Lücke den Strömungsvorgang eines bestimmten Elementes um so weniger verstärkt, je gröfser bereits der Querschnitt seiner Bahn ist.

Der Versuch endlich bestätigt diese Vorhersichten. Man stellt ihn an, indem man den unwirksamen leitenden Bogen symmetrisch zur Mitte der Reihe, oder auf sonst irgend eine Weise anbringt; stets erhält man, wie die Figur zeigt, einen Strom in der Richtung nach der Endlücke hin. Sein Wachsen in derselben Richtung vermag man nicht mit Sicherheit zu beurtheilen, weil, bei asymmetrischer Lage des Bogens, dieser selbst, wie wir bereits wissen, zu Strömungen Anlafs giebt, deren Antheil an den wahrgenommenen Wirkungen sich begreiflich nicht unterscheiden läfst, und die gerade so angeordnet sind, dafs sie den Strom in der Nähe der Endlücke zu vergröfsern, an dem entgegengesetzten Ende der Vorrichtung zu verkleinern streben.

Bricht man an beiden Enden Glieder fort, oder dehnt man die Schicht feuchten Leiters irgendwie über das Endglied aus (Fig. 68), so findet man, bei symmetrischer Lage des Bogens, keinen Strom mehr, bei asymmetrischer aber einen solchen in dem Sinne, als ob die Endlücken nicht vorhanden wären, nämlich von der der Mitte näheren Platte in dem Bogen zu der entfernteren, und zwar, wie mir hat scheinen wollen, etwas stärker bei dieser als bei der ursprünglichen Anordnung. Es ist deutlich, dafs beide nicht mit einander zu verwechseln sind; in dem einen Falle herrscht kein Strom vor der Zinkfront aller Glieder, er wird erst durch die Gegenwart des Bogens selber gesetzt, was uns noch zu erklären übrig bleibt; in dem anderen geschieht nicht nur dasselbe, sondern es ist auch bereits ursprünglich ein Strömungsvorgang von der Mitte nach beiden Endlücken vorhanden, von dem ein Arm abgeleitet werden kann. Nach den Spannungsgrundsätzen ist dies jetzt ohne Weiteres klar, da man die Vorrichtung durch einen mittleren Querschnitt, in dem sich Curven von gleicher absoluter Spannung treffen, in zwei symmetrische Hälften von der eben erörterten Beschaffenheit theilen kann, welche jede einen Strom nach ihrer Endlücke besitzen müssen; nach dem Princip der Deckung der Ströme leuchtet dasselbe ein, wenn man erwägt, dafs man zwei Strömungsvorgänge von entgegengesetzter Richtung und nach den Endlücken hin wachsender Stärke vor sich hat, die sich in jedem

Querschnitte von einander abziehen; die Folge mufs Gleichgewicht in der Mitte, und noch rascheres Anwachsen nach beiden Seiten hin sein.

Folgender Versuch ist als eine Abänderung des Fig. 67 abgebildeten zu betrachten. Anstatt durch Abbrechen von Endgliedern der Vorrichtung, oder durch entsprechende Ausdehnung der Schicht feuchten Leiters über die Front der Elemente hinaus, kann man noch dadurch ein Uebergreifen der Strömungsvorgänge von Partialvorrichtung zu Partialvorrichtung, und somit einen Gesammtstrom in der Flüssigkeit, nur weit schwächer bewirken, dafs man dem Troge, der die Vorrichtung enthält, wie dies Fig. 69 dargestellt ist, eine schiefe Stellung ertheilt. Man weist den Strom in der Richtung des Pfeiles am besten nach, indem man vor der wie gewöhnlich wagrecht aufgestellten Reihe die Ableitungsplatten symmetrisch zur Mitte derselben anbringt, und dann die schiefe Lage bewerkstelligt, wodurch ein Ausschlag in dem angegebenen Sinne erfolgt. Stellt man die wagrechte Lage wieder her, so geben sich die Ladungen kund; neigt man den Trog nach der anderen Seite, so erhält man einen Ausschlag in derselben Richtung als der der Ladungen war, von umgekehrter Richtung folglich als der ursprüngliche; die wagrechte Lage setzt wiederum Ladungen in Freiheit u. s. f. Es ist leicht, diese Wirkung in der nämlichen Art, wie im Fall einer Endlücke, aus dem Grundsatze der Deckung der Ströme abzuleiten: Der Strömungsvorgang nach der Seite hin, nach welcher der Querschnitt der Flüssigkeit sich erweitert, hat die Oberhand über denjenigen nach der anderen Richtung, in welcher die Strombahn immer enger und enger ausläuft.

Wir sind jetzt in der Kenntnifs der mannigfaltigen Umstände, die hier in Betracht kommen, weit genug vorgeschritten, um an die Erklärung der Erscheinung hinanzugehen, auf welche es bei alle dem Vorigen im Grunde abgesehen war, der Ströme nämlich, die man erhält, wenn der Bogen an die Vorrichtung in ihrem ursprünglichen Zustande, d. h. ohne Endlücken und bei wagrechter Stellung asymmetrisch zu ihrer Mitte angelegt wird.

Betrachten wir zuerst den Fall, wo der eine Fufspunkt des Bogens sich am äufsersten Ende der Vorrichtung, der andere über einer beliebigen Stelle derselben, aber ihrer Mitte näher sich befindet. Der Strom, den man alsdann erhält, hat die Richtung in dem Bogen von dem inneren zu dem äufseren Fufspunkte. In der That, die zwischen den Fufspunkten begriffenen Glieder können nicht ihren Strömungsvorgang durch den Bogen senden; er behält daher seine frühere Stärke bei. Dagegen der Strömungsvorgang der aufserhalb der Fufspunkte gelegenen Glieder wird verstärkt, und überwiegt also über ersteren in dem Querschnitt

der Flüssigkeitsschicht dem inneren Fufspunkte zunächst, und zwar hat die übrigbleibende Resultirende die Richtung nach der Seite hin, nach welcher der Bogen verschoben ist. Es ist also gewissermafsen nichts, als eine neue Art der Verwirklichung des Falles einer Lücke an dem einen Ende der Gliederreihe; es entsteht ein Gesammtstrom vor der Zinkfront in der Richtung nach dem besser leitenden Ende hin, und ein Theil desselben nimmt seinen Weg durch den angelegten Bogen selbst.

Rücken wir alsdann den Bogen, der wiederum von beständiger Spannweite gedacht wird, in der Richtung nach der Mitte hin fort, so handelt es sich, um unsere Aufgabe gelöst zu haben, nur noch um den Nachweis, dafs der Strömungsvorgang, den die gröfsere, auf der Seite des inneren Fufspunktes gelegene Gliederanzahl durch den Bogen sendet, denjenigen an Stärke übertrifft, der von der kleineren, auf der Seite des äufseren Fufspunktes befindlichen Anzahl ausgeht. Die Nothwendigkeit davon sieht man ein, wenn man den bereits oben S. 651 angewendeten Grundsatz zu Hülfe nimmt, dafs nämlich der Strom, dessen Bahn, bei gleicher Stärke, den gröfseren Widerstand darbietet, durch Hinzufügung eines neuen Bahnzweiges mehr gestärkt wird als der von ursprünglich kleinerem Widerstande durch Hinzufügung desselben Bahnzweiges. Die Bahn von kleinerem Querschnitt aber kommt hier sichtlich dem Strömungsvorgange der gröfseren Gliederanzahl zu, welcher somit im Bogen überwiegen mufs.

Man begreift auf diese Weise leicht, dafs der Strom um so stärker werden mufs, je näher man mit dem Bogen von beständiger Spannweite dem Ende der Gliederreihe rückt; dann um so kleiner wird, bis sie endlich verschwindet, die Anzahl der Glieder, deren Strömungsvorgang im Bogen zwar unterliegt, aber doch den entgegengesetzt gerichteten um seine ganze Gröfse schwächt. Das aber läfst sich freilich nicht durch eine so unvollkommene Zergliederung ins Reine bringen, ob die Curve, in der dieses Wachsthum stattfindet, gegen die Abscissenaxe convex sein müsse. Und leider mufs ich bekennen, dafs es mir auch durch den Versuch nicht hat gelingen wollen, mir hier einen recht schlagenden Aufschlufs zu verschaffen, was von der erstaunlichen Vergänglichkeit der Wirkung dieser Vorrichtungen herrührt, die, wie schon bemerkt wurde, auf der doppelten Polarisation, wovon die eine an den kleinen Kupferflächen, beruht. In vielen Fällen zeigte sich unzweideutig eine Convexität der Curve gegen die Abscisse, in anderen jedoch eine Concavität, allein meistens nur nach dem einen Ende der Gliederreihe hin; an dem anderen fand sich eine um so ausgesprochenere Convexität.

Der Theorie nach minder deutlich, als das Wachsen des abgeleiteten Stromes in dem Bogen beim Vorrücken nach dem Ende der Vor-

richtung hin, bleibt der durch den Versuch hinwieder leicht zu erhärtende Umstand, dafs man die höchste Stromstärke dann erhält, wenn sich die äufsere Platte an dem einen Ende, die innere vor der Mitte der Vorrichtung befindet; es läfst sich aber wenigstens denken, dafs ein solches Verhältnifs eintreten könne, da diese Stärke einerseits von der Anzahl der Glieder abhängt, welche einen Strom durch den Bogen senden, andererseits dieser als eine an einen Hauptleiter angelegte Nebenschliefsung zu betrachten ist, deren Enden einen um so gröfseren Unterschied der Spannungen annehmen, eine je gröfsere Strecke des Hauptleiters von ihnen umfafst wird.

Nicht wenig verwickelt endlich ist die Art, wie der Strom zu Stande kommt, den man erhält, wenn man die äufsere Platte in die Lücke zwischen der Seitenwand eines der Endglieder und der des Troges hineinstellt. Er entspricht, wie man sich erinnert (S. oben S. 647) demjenigen zwischen Längs- und Querschnitt am Muskel, oder zwischen Mantel und Grundfläche am einfach cylindrischen Schema. Dieser Strom würde nämlich auch dann stattfinden, wenn der Bogen keine Verzerrung der isoëlektrischen Curven und keinen Gesammtstrom vor der Zinkfront nach der Seite, nach der er verschoben ist, dadurch hervorbrächte, dafs er, vermöge seiner asymmetrischen Stellung, die nach dieser Seite gerichteten Strömungsvorgänge aller aufserhalb seiner Fufspunkte gelegenen Glieder verstärkt. Dies geht nicht nur einfach aus der Betrachtung hervor, welche zeigt, wie sich nun isoëlektrische Curven von verschiedener absoluter Spannung an die beiden Fufspunkte anschliefsen müssen, sondern dasselbe erhellt auch aus dem Versuche unmittelbar, da der Strom zu erscheinen fortfährt, selbst wenn die innere Platte bis an das andere Ende der Vorrichtung verschoben wird, so dafs sich beide Platten nun zwar in Querebenen befinden, die zur Mitte symmetrisch gelegen sind, jedoch innerhalb dieser Ebenen verschiedene Stellungen einnehmen. Bei der asymmetrischen Stellung des Bogens aber giebt dieser aufserdem noch zur Bildung eines Gesammtstromes vor der Front der Gliederreihe Veranlassung, wovon ein Arm durch den Bogen seinen Weg nimmt, und sich zu dem gleichgerichteten Stromantheile hinzufügt, der von der verschiedenen Lage der Platten in ihrer Querebene herrührt. Es versteht sich, dafs dieselbe Zergliederung auf den umgekehrten Fall pafst, wo nämlich die innere Platte in die Lücke zwischen den Kupferwänden zweier Glieder hineingestellt wird, während die äufsere vor der Zinkfront stehen bleibt. Hier ziehen sich die erwähnten beiden Stromantheile von einander ab. Dieser Fall würde demjenigen zu vergleichen sein, wo man den Fufspunkt am

Querschnitte des Muskels zwischen die einfachen Bündel hindurch ins Innere desselben versenkte.

Ich brauche den Leser wohl nicht erst zu versichern, dafs Niemand tiefer als ich selber empfinden kann, wie viel diese Auseinandersetzungen an Schärfe und Klarheit im Einzelnen zu wünschen übrig lassen. Nichtsdestoweniger müssen wir uns, mit Rücksicht auf die grofse Schwierigkeit des Gegenstandes, einstweilen damit begnügen; ich wenigstens kenne keinen Weg, denselben einer blos mit Hülfe der Anschauung angestellten Untersuchung zugänglicher zu machen, und was die Rechnung betrifft, so dürfte sie, obschon im vorliegenden Falle die Elektricitätsbewegung sogar nur als nach zweien Ausmessungen stattfindend angenommen wurde, wohl schwerlich so bald im Stande sein, der undurchdringlichen Verwickelung einer derartigen Aufgabe obzusiegen.

Wie dem auch sei, lassen wir jetzt die theoretische Behandlung derselben auf sich beruhen, und suchen wir an der Stelle lieber die Früchte zu bergen, welche uns auf dem Boden des Thatbestandes nunmehr erwachsen sein mögen. Erinnern wir uns zunächst, was eigentlich das zuletzt besprochene Schema zu versinnlichen bestimmt war. Es sollte dazu dienen, die Entstehungsweise der schwachen Ströme des Querschnittes des Gesammtmuskels ans Licht zu ziehen, die uns dunkel vorkam, seitdem wir aufmerksam darauf geworden waren, dafs an demselben das negative Kettenglied nicht stetig verbreitet, sondern überall durch ein Netzwerk eines unwirksamen feuchten Leiters vielfach in sich selbst getrennt und zerrissen sei. Diese Dunkelheit ist nun als gehoben zu betrachten. Wir hatten zuerst den Muskelquerschnitt in der Fig. 63 dargestellten Weise schematisirt. Unter dieser Gestalt konnten wir leicht erkennen, dafs an demselben, ohne angelegten Bogen, kein Gesammtstrom stattfinden könne, sondern nur Partialströme auf den Querschnitten der einzelnen Muskelbündel, unter der Voraussetzung, dafs ein jedes derselben unserer ersten, einfach cylindrischen Vorrichtung gleich zu stellen sei. Um aber zu erwägen, was die Folge beim Anlegen eines Bogens an den Querschnitt sein werde, fanden wir es nöthig, jenes Schema noch mehr zu vereinfachen. Zu diesem Zweck schnitten wir, mittelst zweier, durch die Axen einer Reihe von Partialvorrichtungen an demselben, ihnen, und einander paralleler und sehr naher Ebenen, gleichsam eine Scheibe von der Gestalt heraus, welche die Fig. 65. 67—69 gewissermafsen im Aufrifs zeigen. Was wir an dieser Scheibe in einer Richtung wahrgenommen, findet am Querschnitte in allen daran möglichen Richtungen statt. Dabei versteht es sich von selbst, dafs wir das Zeichen der Richtung der Ströme umzukehren haben, da die Front

der Elemente sich an dem Querschnitte negativ, an unserem Schema hingegen positiv verhält; dies läfst aber, wie bereits oben S. 645 bevorwortet wurde, alle unsere sonstigen Schlufsfolgen unberührt.

Das Schema Fig. 63 wird sich am Muskel selber natürlich nur in sehr unvollkommener Weise verwirklicht finden. Damit dies vollständig der Fall wäre, müfsten sämmtliche Bündel die Gestalt eines gleichseitigen Drei-, Vier- oder Sechseckes haben. Alsdann würden, in allen ihren Berührungsflächen, bei vorausgesetzter genauer Gleichheit der elektromotorischen Kräfte sämmtlicher Bündel, isoëlektrische Curven von gleicher absoluter Spannung aufeinanderstofsen. Bekanntlich zeigen aber die Bündel die mannigfaltigsten prismatischen Figuren, was schon dadurch von vorn herein bedingt ist, dafs sie keinesweges alle von gleicher Dicke sind. Es werden demnach, in Wirklichkeit, die Strömungsvorgänge der einzelnen Muskelbündel nicht immer auf ihre eigentliche Bahn beschränkt bleiben, sie werden der eine über den anderen in mannigfaltiger Weise übergreifen, und ein unbestimmtes Gewühl kleiner Gesammtströmungen vor der Front einzelner wenig ausgedehnter Gliedergruppen wird in den verschiedensten Richtungen zu Stande kommen.

Bei Betrachtung der Fig. 69 liegt es nahe, in dem keilförmig abgeschnittenen Stücke der Vorrichtung, welches, vermöge der geneigten Lage des Troges gegen den Horizont, allein noch wirksam ist, gleichsam ein durch zwei Radien begrenztes Element der mehr oder minder kreisförmigen Gestalt eines Muskelquerschnittes wiedererkennen zu wollen, und alsdann die Frage aufzuwerfen, ob nicht an jedem Querschnitte doch bereits an und für sich, ohne angelegten Bogen, radiale Gesammtströme verlaufen müssen; wobei die Fälle der regelmäfsig drei-, vier- oder sechsseitigen Gestalt der einzelnen Glieder als ideale Ausnahmsfälle zu betrachten sein würden. Diese Betrachtungsweise ist jedoch fehlerhaft, insofern sie voraussetzt, dafs in dem Element *abc* (Fig. 70. Taf. V), welches mit der Anordnung Fig. 69 zu vergleichen sein würde, die Elektricitätsvertheilung ungestört bleibt, wenn man es abwechselnd aus dem Muskel entfernt und wieder in seine Lage bringt. Aufserhalb derselben mag es freilich dieselbe Gesammtströmung, wie die Anordnung Fig. 69 besitzen; allein damit es sie in seiner Lage am Muskel beibehielte, müfste es dergestalt abgespalten sein, dafs, beim Wiedereinfügen, nur isoëlektrische Curven von gleicher absoluter Spannung aufeinandertrafen. Da sich dies am Muskel nicht entfernterweise verwirklicht finden wird, so sieht man, dafs es, am künstlichen Querschnitte wenigstens, sein Bewenden bei den ebenerwähnten kleinen und unregelmäfsigen Gesammtströmungen vor der Front einzelner Gruppen von Muskelbündeln haben dürfte.

Etwas anders ist es am natürlichen Querschnitte. Hier kann die Gegenwart eines Gesammtstromes, wenn auch nicht immer eines allseitig nach dem Mittelpunkte strebenden, leicht durch die ungleiche Dicke der Sehne über den verschiedenen Punkten des Querschnittes bedingt sein. Von der Wirksamkeit dieses Umstandes vermag man sich ebenfalls an der zuletzt angewendeten schematischen Vorrichtung zu überzeugen, indem man die Gliederreihe, anstatt der einen langen Seitenwand des Troges parallel, schief gegen dieselbe stellt. Werden dann die ableitenden Platten in derselben Lage angebracht, welche, bei der gewöhnlichen Anordnung, keinen Strom giebt, nämlich symmetrisch zur Mitte der Seitenwand und in gleicher Entfernung von derselben, so erhält man einen Strom in dem Bogen von der Platte, die entfernter von der Zinkfront ist, zu derjenigen, welche derselben näher steht. Man hätte, nach dem Erfolge bei Gegenwart einer Endlücke, bei geneigter Lage des Troges und bei asymmetrisch angelegtem Bogen, eher das Umgekehrte gewärtigen sollen. Danach nämlich müfste ein Gesammtstrom vor der Zinkfront in der Richtung von den engeren zu den weiteren Querschnitten verlaufen. Muthmafslich kommt indefs die verschiedene Entfernung der Ableitungsplatten von den gegenüberstehenden Punkten der Gliederreihe hier auf irgend eine Weise störend in Betracht. Jedenfalls möchte auf die ganze Erscheinung, bei der Unregelmäfsigkeit und Verwickelung der Anordnung, wenigstens in diesem Sinne, nicht viel zu geben sein.

Ob auch der Winkel, unter dem der natürliche Querschnitt an den Längsschnitt stöfst, von Einflufs zur Erzeugung eines Gesammtstromes an ersterem sein könne, vermag ich nicht zu entscheiden. Von Bedeutung dafür scheint hingegen die ungleiche Länge der Muskelbündel sein zu müssen. Man sollte meinen, dafs alsdann an dem Querschnitte ein Strom von den Punkten, die den längeren Bündeln entsprechen, zu denjenigen verlaufen müsse, welche die Enden der kürzeren Bündel vorstellen.

Endlich läge uns hier ob, die ganze obige Zergliederung nun noch für den Fall durchzuführen, dafs der Bogen sich mit seinen Fufspunkten statt an zwei Stellen eines und desselben Querschnittes, an solche zweier verschiedenen Querschnitte angelegt findet. Die Mühseligkeit der Auseinandersetzung abgerechnet, würde uns dies jetzt, mit Hülfe des Grundsatzes der Deckung der Ströme, und innerhalb der Grenzen der Genauigkeit, an die wir uns leider haben gewöhnen müssen, keine namhafte Schwierigkeit verursachen. Ich übergehe deshalb diesen Punkt, bei dessen Erörterung wir noch mehr als bereits in allem Früheren die Nachtheile der Lage empfinden würden, in die wir allmälig gerathen

sind, Verhältnisse, deren Verwickelung sogar die Kräfte der Analyse übersteigt, unter Entbehrung ihrer unersetzlich kurzen und gewandten Zeichensprache, auf divinatorischem Wege durchdringen, und in schwerfälliger Umschreibung durch Worte wiedergeben zu müssen. Ich darf aber hier nicht unterlassen, darauf aufmerksam zu machen, wie wenig auffallend und wie mannigfaltigen Deutungen zugänglich von diesem Standpunkte aus die Unregelmäfsigkeiten erscheinen, auf die wir bei der Erforschung der Ströme zwischen zweien künstlichen oder natürlichen, oder gar zwischen einem künstlichen und einem natürlichen Querschnitte gestofsen sind (S. oben S. 511. 631). Wir fangen jetzt an einzusehen, was in der nächsten Folge unserer Untersuchung mit jedem Schritte deutlicher hervortreten wird, dafs, der Verwickelung der Bedingungen gegenüber, unter denen das Gesetz des Muskelstromes zu Stande kommt, es ungleich wunderbarer ist, wenn sich noch immer so viele Punkte desselben der unmittelbaren Beobachtung auf das sicherste darstellen, als wenn hie und da eine Lücke oder eine Abweichung wahrgenommen wird; und wir erkennen mehr und mehr die Undankbarkeit des Bestrebens sowohl, alle diese Schwankungen im Einzelnen mit dem Verständnisse bewältigen zu wollen, als die Grundlosigkeit der Bedenken, die mit Rücksicht auf dieselben gegen das Gesetz in seiner, einem idealen Zustande entsprechenden, idealen Fassung erhoben werden können (Vergl. oben S. 519).

Wir beschliefsen diese Untersuchung über die Ströme des Querschnittes an einem zusammengesetzten Bündel, indem wir noch suchen, uns aus Kupfer und Zink, in hergebrachter Weise, ein möglichst getreues Schema eines solchen, unseren jetzigen Begriffen gemäfs, herzustellen. Dies wird unstreitig der beste Weg sein, etwaige Zweifel zu beseitigen, die den obigen Schlüssen aus dem Grunde anhaften geblieben sein sollten, weil sie einem Schema entnommen waren, an dem die Elektricitätsbewegung, statt, wie am Querschnitte, nach dreien, nur nach zwei Ausmessungen stattfand, und weil die Front der Glieder an demselben, statt aus dem negativen Bestandtheile der Kette, zufällig aus dem positiven bestehend gewählt war.

Man sieht die Vorrichtung, deren ich mich zu diesem Zwecke bedient habe, Fig. 71 in perspectivischer Darstellung. Aus Kupferdraht von 9.5$^{mm}$ Durchmesser wurden 37 Stücke von 75$^{mm}$ Länge geschnitten und gerichtet, auf galvanischem Wege verzinkt und die Kupferoberfläche der Querschnitte wiederum hergestellt. Ein jedes dieser Stücke war somit, centrisch in eine cylindrische Masse feuchten Leiters versenkt, im Kleinen, was die einfach cylindrische Vorrichtung in gröfserem Mafsstabe. Diese Stäbe wurden mit dem einen Ende auf eine

gefirnifste kreisrunde Holzscheibe von 85$^{mm}$ Durchmesser und 12$^{mm}$ Dicke, welche auf drei Spitzen aus Messingdraht sicher stand, gekittet; einer in den Mittelpunkt, dann nach hexagonalem Gesetze fortschreitend, 6, 12, 18 im Sechseck um die früheren herum. Die Scheibe war mit Handhaben versehen, starken oben ringförmig gebogenen Messingdrähten, um sie daran, bei der abgebildeten Weise des Versuches, ins Wasser versenken zu können. Dieses befand sich in einem Cylinderglase von 125$^{mm}$ Tiefe auf 110$^{mm}$ Durchmesser; der obere, freie Querschnitt der Vorrichtung wurde ungefähr 20$^{mm}$ hoch damit übergossen. Als Enden des ableitenden Bogens dienten die bereits oben S. 620 beschriebenen, Fig. 61 abgebildeten Platten, die behufs der Untersuchung des einfach cylindrischen Schema's erfunden und angefertigt worden waren. [1]

In diesem Zustande war die Vorrichtung weniger geeignet, die Schlufsfolgen dieser Nummer vollends zu erhärten, als überhaupt ein Bild des Muskels nach der uns jetzt vorschwebenden Vorstellungsweise und eine Gelegenheit zur Bestätigung des Gesetzes des Muskelstromes daran in allen seinen Punkten abzugeben. Da der untere Querschnitt auf die Unterlage festgekittet ist, so ist dieselbe begreiflich nur der Hälfte eines Muskelbündels von seinem elektromotorisch mittleren Querschnitte an bis zu einem seiner Endquerschnitte hin zu vergleichen. [2] Sie giebt demnach, was keiner Erläuterung bedarf, die Ströme des Längsschnittes allein von dem unteren angekitteten Querschnitte her nach dem oberen freien hin (4 — 5°); ebenso die Ströme zwischen Längs- und Querschnitt zugleich (8 — 10°); endlich, in derselben Stärke ungefähr wie die des Längsschnittes allein, auch die Ströme des Querschnittes selbst.

Was die letzteren betrifft, so bemerkt man jedoch leicht, dafs sie, bei dieser Form der Vorrichtung, ihrer Entstehungsweise nach nicht

[1] Die Vorrichtung ist im Besitze des hiesigen Königl. Anatomischen Museums. In der Zeichnung ist das Glas etwas zu eng im Verhältnisse zu seiner Höhe gehalten, damit sein oberer Rand nicht die Aufsicht auf den Querschnitt des Bündels störe.

[2] Um im Stande zu sein, beide Querschnitte der Vorrichtung gleichzeitig zu untersuchen, hätte man folgende Anordnung treffen können. In einen Leinwandstreifen von der Breite, welche der Länge der Stäbe entspricht, und von hinreichender Länge, hätten alle Cylinder dergestalt eingewickelt werden müssen, dafs keiner den anderen metallisch berührte. Mittelst Schnüren oder einer Naht hätte man alsdann das Ganze bündelförmig zusammenfassen und centrisch in eine cylindrische Masse feuchten Leiters versenken können, wie dies mit dem einfach cylindrischen Schema geschah. So zierlich diese Versuchsweise gewesen wäre, so hätte sie doch nichts Neues gelehrt, und ist deshalb, bei ihrer Schwierigkeit, bis auf Weiteres füglich unterlassen worden.

ganz mit denjenigen übereinkommen, die der Querschnitt des Muskels zeigt. Denn, um die Ströme des Längsschnittes allein, und die des Längsschnittes und des Querschnittes zugleich ableiten zu können, hat rings um den Längsschnitt des zusammengesetzten Bündels eine Schicht feuchten Leiters von ungefähr gleicher Dicke wie über dem Querschnitte selbst erhalten werden müssen. Diese stellt demnach, für jeden Durchmesser der Vorrichtung, gleichsam die beiden Endlücken der linearen Vorrichtung Fig. 68 dar; die Strömungsvorgänge der äufsersten Stäbe müssen über die der Mitte zu gelegenen übergreifen, wie es an dieser der Fall war; mit einem Worte, es wird auch ohne angelegten Bogen bereits ein Gesammtstrom über dem Querschnitte vom Umfange nach dem Mittelpunkte hin vorhanden sein, während dies, wie man sich erinnert, am Muskel bekanntlich nicht stattfinden soll, wo die Ströme des Querschnittes vielmehr erst durch das Anlegen des Bogens gesetzt werden.

Um diesen Punkt zu prüfen, war es nothwendig, eine Anordnung zu treffen, welche, für die hier stattfindende Elektricitätsbewegung nach drei Ausmessungen, derjenigen entspräche, die wir in Fig. 65 für eine solche nur nach zwei Richtungen verwirklicht haben; d. h. die Gesammtvorrichtung mufste zwischen sämmtlichen Partialvorrichtungen so spaltbar sein, dafs einer jeden derselben dabei eine gleichgestaltete und gleich dicke Schicht feuchten Leiters übrig blieb, in der der metallische Erreger eine allerseits symmetrische Stellung einnähme. Alsdann treffen, beim beliebigen Zusammenfügen der Partialvorrichtungen zu einem stetigen Ganzen, stets nur isoëlektrische Curven von gleicher absoluter Spannung aufeinander, und in jeder einzelnen Vorrichtung bleibt das dynamische Gleichgewicht der Elektricität ungestört. Es ist schon oben bemerkt worden, dafs nur unter drei Voraussetzungen diese Bedingung erfüllt werden könne, denen einer gleichseitig drei-, vier- oder sechseckigen Säulengestalt der Partialvorrichtungen nämlich, wobei die Axen der Cylinder mit den Axen der prismatischen Flüssigkeitsmassen zusammenfallen müssen. Von diesen drei Voraussetzungen war, wie man leicht erkennt, mit einiger Genauigkeit nur die erste und die zweite zu verwirklichen, da nur bei diesen die Gestalt des Gesammtquerschnittes der Gestalt der Partialquerschnitte entsprechend ausfällt; bei den sechsseitig säulenartigen Partialvorrichtungen hätte der Umrifs des Gesammtquerschnittes bereits für sieben zusammengefügte Glieder die verwickelte gebrochene Linie abbilden müssen, welche die Fig. 63 begrenzt. Da die dreiseitige Gestalt allzuwenig mit derjenigen eines Muskelbündels übereinkommt, hielt ich mich somit einfach an die vierseitige, die folgendermafsen verwirklicht wurde.

Auf ein gefirnifstes viereckiges Brettchen wurden 36 der obigen Stäbe möglichst regelmäfsig in sechs Reihen aufgekittet, wobei der kleinste Abstand eines Stabes von den vier ihm benachbarten 1$^{mm}$ betrug. Dann umgab ich das viereckte Bündel mit einem genau gearbeiteten entsprechend gestalteten hölzernen Gehäuse von 100$^{mm}$ Höhe, welches oben und unten offen, und dicht gefirnifst war, und, bei 63$^{mm}$ Seite im Lichten, nur ungefähr 0.5$^{mm}$ Spielraum zwischen seinen inneren Wänden und den vier äufsersten Reihen von Stäben übrig liefs. Die Fuge zwischen den unteren Rändern desselben und dem Brettchen wurde mit Kitt dicht gemacht, und Wasser in das Gehäuse gegossen, bis es 20$^{mm}$ hoch über dem Querschnitte des zusammengesetzten Bündels stand. Untersuchte ich jetzt die Schicht feuchten Leiters über dem Querschnitt mit den Ableitungsplatten, so fand ich, in den vier Richtungen der vier einander zu zweien parallelen Seiten und der beiden Diagonalen, die nach dem Mittelpunkte strebenden Ströme des Querschnittes, zwar schwach, aber unverkennbar vor, was zu beweisen war. Das Aufsteigen der Stromstärke beim Verschieben nach dem Längsschnitte hin konnte eben noch dürftig gezeigt werden; der Sinn der Biegung der Curve aber gegen die Abscissenaxe, in welcher dies Aufsteigen geschieht, wie auch der Einfluſs der Spannweite des Bogens auf die Stromstärke, entgingen der Beobachtung.

Um bei dieser Anordnung auch noch den Strom von Längs- und Querschnitt zugleich ableiten zu können, hätten in die eine Seitenwand des viereckten Gehäuses Fenster angebracht und diese mit Platinblech geschlossen werden müssen, welches nach Innen noch mit einem Ueberzuge von Fliefspapier versehen gewesen wäre. Alsdann hätten diese Bleche, durch passend angelöthete Drähte mit dem Multiplicator in Verbindung gesetzt, den am Längsschnitt befindlichen Fufspunkt des ableitenden Bogens vorgestellt. Diese künstliche Einrichtung ist nicht ins Werk gesetzt worden, da sich muthmafslich manche Schwierigkeit dabei kundgegeben haben würde, ohne dafs davon irgend ein wichtiger Aufschluſs zu erwarten gewesen wäre.

## 8. Von den verschiedenen möglichen Anordnungen ungleichartiger Gebilde in dem Primitivmuskelbündel.

Die Untersuchungen, welche in der vorigen Nummer mitgetheilt wurden, haben, wie bereits oben S. 641 verkündigt wurde, noch eine andere, allgemeinere Bedeutung, als diejenige, unter der sie uns bis jetzt erschienen. In der That, wir haben dadurch nicht allein die Einsicht

in die Art und Weise erlangt, wie die schwachen Ströme des Querschnittes, trotz der Unterbrochenheit des negativen Gliedes an demselben, zu erklären sind, sondern es ist uns zugleich ein neues Princip eröffnet, mit dessen Hülfe wir eine unbegrenzte Anzahl von Anordnungen ersinnen können, die sämmtlich vermögend sind, gleich dem einfach cylindrischen Schema, und gleich dem aus mehreren Vorrichtungen der Art zusammengesetzten Bündel, nach dem Gesetze des Muskelstromes elektromotorisch zu wirken. Die Betrachtung der schwachen Ströme des Querschnittes ist für uns zu dem Anhaltspunkte geworden, nach dem wir, Eingangs jener Nummer, nicht ohne Besorgnifs umhersahen; einige Worte werden genügen, dieses begreiflich zu machen.

Das Schema Fig. 65, welches ursprünglich eine Scheibe des Querschnittes im Aufrisse zu versinnlichen bestimmt war, kann nämlich ebensowohl als Schema des Längsschnittes gelten. Damit eine Anordnung ungleichartiger Gebilde nach dem Gesetze des Muskelstromes wirksam sei, ist es ebensowenig nothwendig, dafs ihr Längsschnitt das positive Glied in stetiger Ausbreitung darbiete, als wir dies in der vorigen Nummer für das negative Glied an ihrem Querschnitte nothwendig fanden. Wir können uns demnach jetzt den Längsschnitt sämmtlicher Muskelbündel nicht allein nach Belieben als rein positiv vorstellen, sondern er darf auch auf beliebig vielen Punkten durch unwirksamen feuchten Leiter unterbrochen sein. Oder auch, da die Lücken zwischen den einzelnen Gliedern Fig. 65 mit isoëlektrischen Curven fast geradlinig überbrückt sind, werden wir, an die Stelle dieser Curven, mit ganz gleichem Erfolge, die Begrenzung des negativen Kettengliedes selbst setzen dürfen, in ähnlicher Weise, wie dies oben S. 638 bereits für den Querschnitt der cylindrischen Vorrichtung geschah, um die Einflufslosigkeit des verschiedenen Widerstandes des metallischen und des thierischen Erregers auf die Elektricitätsvertheilung in beiden innerhalb der uns verstatteten Grenzen der Genauigkeit einsichtlich zu machen. Unter beiden Voraussetzungen wird, wie wir jetzt wissen, der Längsschnitt fortfahren, die ihm zukommenden schwachen Ströme in dem Bogen abzugeben, obschon alsdann ursprünglich, bei Abwesenheit des Bogens, keine Gesammtströme mehr an demselben verlaufen werden. Die abgeleiteten Ströme im Bogen aber werden, beim Verschieben eines solchen von beständiger Spannweite dem Längsschnitte entlang, wie es wirklich am Muskel der Fall ist, von dem mittleren Querschnitte nach den Endquerschnitten hin an Stärke zunehmen. Dafs dies in einer, gegen die Abscissenaxe convexen Curve geschehen müsse, wie es der Muskel zeigt, haben wir freilich nicht, weder durch die Theorie, noch mit Bestimmtheit durch den Versuch an der schematischen Vorrichtung

auszumachen vermocht. Dieser sprach aber aus, was die Theorie auch nicht zu durchdringen im Stande war, dafs unter diesen Umständen, abermals wie am Muskel, die Spannweite des Bogens gleich der halben Länge der erregenden Gliederreihe die gröfste Stromstärke gebe. Dafs endlich, bei dem neuen vorausgesetzten Baue des Längsschnittes, der Strom zwischen Längs- und Querschnitt noch immer nicht nur stattfinden, sondern auch als der stärkste sich kundgeben werde, bedarf nicht der Erörterung. — Man erinnert sich, dafs der Querschnitt des Muskels, den wir als den elektromotorisch mittleren zu bezeichnen pflegen, häufig eine Verschiebung nach dem einen oder dem anderen Endquerschnitte zu erfährt, so dafs er nicht mehr, wie er sollte, mit dem geometrisch mittleren Querschnitte zusammenfällt (S. oben S. 514. 629). Ganz dieselbe Unregelmäfsigkeit sieht man an dem in Rede stehenden neuen Schema des Längsschnittes aus unbekannten Gründen nicht selten wiederkehren, so dafs es, bis in seine zufälligen Abweichungen von der unzweifelhaften Gesetzmäfsigkeit, das elektromotorische Verhalten des Längsschnittes getreu wiedergiebt.

Ein Muskelbündel also, an dessen Längsschnitte die angegebene Vertheilung der ungleichartigen Gebilde herrschte, würde nicht aufhören, innerhalb der uns gesteckten Grenzen der Genauigkeit, im Sinne des Gesetzes des Muskelstromes elektromotorisch zu wirken. Wir sind somit endlich bei dem Ziele angelangt, welches wir uns im Beginne dieses Paragraphen vorgesetzt hatten. Wir sehen uns im Stande, eine Erörterung über die verschiedenen Möglichkeiten zu eröffnen, denen die Anordnung der ungleichartigen Gebilde im Muskel, nach dem Gesetze des Muskelstromes zu urtheilen, unterliegt. Wir nehmen dabei folgenden Weg.

Wir legen uns nacheinander alle Möglichkeiten elektromotorischer Anordnungen vor Augen, die wir, zur Erklärung des Gesetzes des Muskelstromes in dem Muskelbündel, annehmen können. Physikalisch sind alsdann alle diese mannigfaltigen Hypothesen offenbar völlig gleichberechtigt. Einen Entscheidungsgrund zwischen denselben können wir daher nur einem ganz anderen Kreise von Betrachtungen, dem nämlich morphologischer Rücksichten und physiologischer Erklärungszwecke, entnehmen. Diejenige Vorstellungsweise, welche, indem sie den Forderungen des Gesetzes des Muskelstromes Genüge leistet, zugleich nicht gegen das vom Baue des Muskelgewebes Bekannte verstöfst, und uns vollends eine Anwendung auf die Erklärung der Muskelzusammenziehung in wenn auch noch so entfernte Aussicht stellt, diese Vorstellungsweise wird uns, unter allen physikalisch gleichberechtigten, ohne Verstofs gegen die Strenge der Methode, unstreitig als die genehmste erscheinen dürfen.

Sie ist es, der wir bis auf Weiteres unbedingt die Hand reichen, und sie bei unseren Auseinandersetzungen und Entwürfen zu fernerem Vorschreiten mit Fug zu Grunde legen werden; bis nämlich entweder Thatsachen sich derselben unbesiegbar in den Weg stellen, oder bis, im Gegentheil, dergleichen ihre Partei nehmen und sie zum Range einer beglaubigten Theorie erheben.

Es wird, in der nächsten Folge, zur Vereinfachung der Darstellung beitragen, wenn wir hier sogleich morphologischer- und physiologischerseits die Hauptpunkte voraufschicken, welche bei Beurtheilung der mannigfachen Annahmen ins Gewicht fallen, die, rein physikalisch betrachtet, dem Gesetze des Muskelstromes ebenmäfsig Genüge leisten.

Was die von der Formenlehre zu stellende Forderung betrifft, so ist zunächst Folgendes zu erinnern. Der heutige Zustand unserer Kenntnisse von dem feineren Baue des Muskelgewebes soll, so viel nothwendig, an einer späteren Stelle dieses Werkes geschildert werden. Hier genügt uns die Bemerkung, dafs alle Beobachtungen darauf hinauslaufen, uns den Inhalt der Hülle des einfachen Bündels als ein optisch so gut wie gleichartiges Ganze erscheinen zu lassen. Während also die Morphologie sich immerhin dazu verstehen könnte, die Hülle des Muskelbündels als das positive, den Inhalt desselben als das negative Glied der Muskelkette zu betrachten, wogegen sich aber, wie man sich erinnert, andere Gründe bereits mehr oder weniger bestimmt aussprachen und noch aussprechen werden, hat sie sich entschieden dawider zu verwahren, dafs nun etwa im Innern des Muskelbündels ein Gegensatz irgend einer Art, folglich auch ein elektromotorischer, zwischen Theilen gesetzt werde, welche noch im Bereiche optischer Unterscheidbarkeit liegen. Es würde sichtlich eine Abentheuerlichkeit ohne Grenzen sein, wenn man z. B. noch unterhalb der Hülle des Muskelbündels gleichsam eine positive Rinde, und noch tiefer darunter einen negativen Axencylinder annehmen wollte, während von einer solchen Abtrennung unter dem Mikroskope nie eine Spur erscheint. Nun sieht man freilich, in Folge gewisser Behandlungsweisen nach dem Tode oder bei der Zurichtung, die Muskelbündel bald in Längsfasern von mannigfacher Beschaffenheit, bald in Querscheiben zerfallen. Allein eben weil in der Richtung dieses Zerfallens nichts Bestimmtes liegt, ziehen wir vor, uns zu denken, dafs diese scheinbaren Formbestandtheile in dem lebenden Muskel nicht vorgebildet waren, sondern erst, vermöge jener Leichenveränderungen, aus kleinsten Theilen sich zusammengefügt haben, die ursprünglich nach keiner Richtung einen ausgesprochneren Zusammenhang hatten als nach einer anderen. Gleichviel ob man dieser Meinung beipflichte oder nicht, es ist klar, dafs, selbst wenn man die Vorbildung der einen oder der

anderen feineren Theilung des Muskelbündelinhaltes bereits während des Lebens anerkennen wollte, man die so vorausgesetzten Formbestandtheile doch stets als unter einander gleichartige Ganze zu betrachten haben würde, so dafs die mächtigen Gegensätze, die das Muskelinnere unstreitig in sich beherbergt, doch in jedem einzelnen dieser Ganzen vollständig enthalten, und somit, bei der Kleinheit und nicht weiter zu bezweifelnden optischen Gleichartigkeit derselben, den Grenzen der Sichtbarkeit entrückt sein müssen. Es würde nicht minder abentheuerlich sein, als die oben beispielsweise hingestellte Annahme, wenn man, von den Längsfasern oder den Bowman'schen Querscheiben in den Muskelbündeln, die einen als positive und die anderen als negative Kettenglieder nach Bedürfnifs der Untersuchung anzusprechen gedächte. Es bleibt, wie gesagt, vom Standpunkte der Formenlehre aus, so wie einmal die Ansicht der Positivität der Hülle und der Negativität des Inhaltes von der Hand gewiesen ist, nichts mehr übrig, als den elektromotorischen Gegensatz, auf dem der Muskelstrom beruht, in die kleinsten Theile jenes Inhaltes selbst hinein zu verlegen und ihn sich auf allen unterscheidbaren Punkten als gleichmäfsig verbreitet vorzustellen.

In demselben Sinne drängt, wovon der Grund leicht zu durchschauen ist, bei der Entscheidung zwischen den verschiedenen Annahmen über die Anordnung der ungleichartigen Bestandtheile im Muskelbündel, denn auch zweitens die physiologische Betrachtung selber, welche nur stets darauf ausgeht, jede neue Eigenschaft des Muskelgewebes, die ihr bekannt wird, vollends eine so vielversprechende, mit dessen wunderbarer Lebensäufserung in Zusammenhang zu bringen. Eine Menge gewichtiger Gründe, die anderwärts aufgezählt werden sollen, sind neuerdings zusammengeschossen, um es im Verein mit jenen Thatsachen der Formenlehre aufs höchste wahrscheinlich, ja gewifs zu machen, dafs der Vorgang der Muskelzusammenziehung nicht zwischen aliquoten Theilen des Muskels von endlicher oder irgend erheblicher Gröfse, sondern zwischen kleinsten Kräfteträgern von unbegrenzter Anzahl und verschwindenden Mafsen vor sich gehe, ein wahrer Molecularvorgang sei.

Unter gleichberechtigten Vorstellungsweisen über den Ursprung des Muskelstromes also werden wir, laut den obigen Auseinandersetzungen, unsererseits völlig berechtigt, vorzüglich denjenigen unser Augenmerk zuwenden, welche, durch die geforderte Anordnung ungleichartiger Gebilde, jenen gebieterischen Bedingungen der Morphologie Genüge leisten, und sich diesen Wünschen der physiologischen Vorausbetrachtung wenigstens nicht ungefällig erzeigen. Nach dieser Uebereinkunft, welche übrigens, wie sogleich bevorwortet werden mag, der Erfolg rechtferti-

gen wird, schreiten wir nunmehr zu der lange vorbereiteten Erörterung selbst.

Von der Annahme zunächst, welche den Gesammtmuskel mit dem einfach cylindrischen Schema zu vergleichen strebt, kann an dieser Stelle nur noch der Vollständigkeit halber ein letztes Mal die Rede sein. Man entsinnt sich, dafs dieses Schema, auf solche Weise angewendet, sogar nicht die Probe besteht, dafs es beim Durchschneiden der Axe parallel sich am Längsschnitte wieder positiv verhalten und auch die schwachen dieser Begrenzung zugehörigen Ströme aufweisen solle.

Eine zweite Möglichkeit, welche uns frei stand, und von der wir auch, bei der einleuchtenden Unhaltbarkeit jener, ursprünglich alsbald ausgingen, war diejenige, dafs vielmehr das Primitivmuskelbündel selbst es sei, welches dem einfach cylindrischen Schema gleichzustellen wäre. Hier fand die vorige Schwierigkeit für den Längsschnitt nicht mehr statt, weil der künstliche Längsschnitt des einfachen Bündels der Untersuchung nicht mehr zugänglich ist (S. oben S. 637); was aber den künstlichen Querschnitt betrifft, so gab es eine nicht zu gesuchte Voraussetzung, um an demselben stets wieder, was ihm eigentlich fehlte, nämlich die schwachen dieser Begrenzung zukommenden Ströme, wiederherzustellen. Diese Voraussetzung bestand bekanntlich darin, dafs ein jeder künstliche Querschnitt, sei's durch Absterben, sei's durch mechanische Gewalt bei der Zurichtung, sich sofort mit einer neuen Schicht eines unwirksamen feuchten Leiters bekleide.

Vom Standpunkte der rein physikalischen Forderungen aus, den wir bisher einzig einnahmen, steht demnach, wie wir schon wufsten, der Annahme nichts entgegen, die einfach cylindrische Vorrichtung sei als das getreue Bild der Anordnung der ungleichartigen Bestandtheile im Muskelbündel anzusehen; dieses enthalte, unter seiner Hülle, zuerst eine positive Schicht, dem Zinkbleche zu vergleichen, mit welchem unser Kupfercylinder umlöthet ist, und darunter, entsprechend diesem selber, einen negativen Kern. Lassen wir jetzt aber, der obigen Verabredung gemäfs, auch die Formenlehre und die physiologische Betrachtungsweise bei dieser Gelegenheit ein Wort mit einreden, so können wir uns nicht verhehlen, dafs wir nur ungern bereits bei dieser Ansicht stehen bleiben würden, der es nicht minder schwer sein möchte, einen physiologisch brauchbaren Sinn unterzulegen, als sie mit den morphologischen Bedingungen, wie bereits oben bemerkt wurde, in Einklang zu bringen. Vergebens sehen wir uns unter dem Mikroskope nach einer Erscheinung um, die auf die hier geforderte positive Rinde und den negativen Axencylinder zu deuten wäre. Was sollte im Innern des Bündels dieser grelle elektromotorische Gegensatz, der anderwärts,

wenigstens zwischen den verschiedenen Geweben, wie wir früher fanden (S. oben S. 481), vermifst wird, und mit dem unter dieser Form, um die besonderen Lebensäufserungen der Muskeln zu erklären, doch augenscheinlich Nichts anzufangen wäre? Wie seltsam endlich die Negativität des natürlichen Querschnittes, die alsdann nicht anders auszulegen sein würde, als durch das scharfe Abgeschnittensein der positiven Rinde zugleich mit dem negativen Axencylinder!

Nichtsdestoweniger sah ich mich in meinem »*vorläufigen Abrisse*«[1] gezwungen, bei einer derartigen Annahme, deren Uebelstände es mir durch einige fernere Voraussetzungen nur spärlich zu bemänteln gelang, bis auf Weiteres, trotz allem Widerstreben, stehen zu bleiben, weil ich mich auf der einen Seite durch die Thatsachen bis zu dieser Stelle gedrängt sah, auf der anderen damals in keiner Weise über dieselbe hinauszukommen vermochte. Dies rührte zum Theil davon her, dafs ich, um ein Schema des Muskelbündels seinen elektromotorischen Wirkungen nach zu entwerfen, zur Zeit nichts in Händen hatte, als die Kenntnifs der Positivität des Mantels, der Negativität eines beliebigen Querschnittes und der unwirksam leitenden Beschaffenheit der Bindegewebhüllen.[2] Die Ströme zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnittes und des Querschnittes allein kannte ich weder durch den Versuch, noch war ich in die Theorie der flachen Erregerpaare hinlänglich eingedrungen, um ihr Dasein mit Bestimmtheit vorhersagen zu dürfen (S. oben S. 619). Ich brauchte auf sie in meinem Schema folglich keine Rücksicht zu nehmen, und hatte mich z. B. an dem Mangel eines unwirksam leitenden Ueberzuges über einen künstlichen Querschnitt also auch nicht zu stofsen, obschon ich aus anderen Gründen bereits das Entstehen eines solchen durch Absterben vermuthete.[3] Auf diese Weise hatte ich freilich in mancher Rücksicht für meine Erklärungsversuche leichteres Spiel,[4] auf der anderen Seite entbehrte ich aber doch wie-

[1] A. a. O. S. 22. 23. §. 58. S. 25. §. 63.

[2] A. a. O. S. 4. §. 12. S. 8. §. 22.

[3] A. a. O. S. 13. §. 33.

[4] So z. B. konnte ich a. a. O. S. 17. §. 43 sagen: »Eine einfache Construction »zeigt, dafs der .... als Schema der Muskelelektromotoren angesprochene kupferne, »am Mantel verzinkte, an den Grundflächen roth gebliebene, mit einer Schicht eines »feuchten Leiters überzogene Cylinder ersetzt werden könne durch ein bündelförmi»ges System kupferner, am Mantel verzinkter, an der Grundfläche roth gebliebener, »in dieselbe Masse des feuchten Leiters getauchter, nirgends sich metallisch berüh»render cylindrischer Stäbe« — ohne dafs ich nöthig gehabt hätte, erst die Dunkelheiten hinwegzuräumen, die bei dieser Annahme, wie man sich erinnert, für die Erklärung der Ströme des Querschnittes entstehen, und deren Hebung in der vorigen Nummer von uns versucht worden ist.

derum des Anhaltspunktes, den die nähere Betrachtung der schwachen Ströme des Querschnittes, wie man sehen wird, zu gewähren geeignet war, um zu allgemeineren Vorstellungen über den Bau ungleichartiger Anordnungen zu gelangen, die befähigt sein sollen, in dem Sinne des Gesetzes des Muskelstromes elektromotorisch zu wirken.

Es gab indess eine der letztbesprochenen bei weitem überlegene Voraussetzung, zu welcher auch ohne jenen Anhaltspunkt bereits der Weg gebahnt war, und auf die ich daher bei geschärfter Ueberlegung zur Zeit meiner ersten Arbeiten wohl schon hätte gerathen können. Sie besteht darin (S. oben S. 640), dafs das einfache Muskelbündel, statt selber dem cylindrischen Schema vergleichbar zu sein, vielmehr aus beliebig vielen äufserst dünnen Partialvorrichtungen der Art zusammengesetzt gedacht wird. Morphologisch läfst sich gegen diese Vorstellungsweise nur das einwenden, dafs sie einen vorzugsweisen Zusammenhang der kleinsten Theile des Muskelbündelinhaltes in der Richtung der Axe zu bedingen scheint; indessen wird auch dieser Uebelstand verschwinden, wenn wir etwas später suchen, dieselbe mit Hülfe einer leichten Abänderung, welche sie in physikalischer Hinsicht ganz unberührt läfst, den physiologischen Forderungen gerechter zu machen.

Jene Annahme wird somit als eine von denen stehen bleiben, die wir von der endlichen Mitbewerbung wenigstens nicht sogleich werden ausschliefsen können. Das am Schlusse der vorigen Nummer beschriebene Schema, welches dort für das Schema eines zusammengesetzten Muskelbündels ausgegeben wurde, kann, nach dieser Annahme, auch für ein solches eines einfachen Bündels selber gelten. Man sieht, dafs danach im Muskel die Ströme des Längsschnittes fortwährend, auch bei Abwesenheit des Bogens, vorhanden sein würden; die Ströme des Querschnittes hingegen würden erst durch das Hinzutragen des Bogens selber gesetzt werden. Gleichgültig ist es übrigens dabei, für die elektromotorische Wirksamkeit des Ganzen, innerhalb der hier gangbaren Grenzen der Genauigkeit, ob man sich, im Innern des Muskelbündels, die einzelnen cylindrischen Stäbe von einander durch unwirksame Leiter getrennt denkt (i), oder ob man sie sich in der Vorstellung ganz (ii) oder auch nur in gewissen Punkten (iii) berühren läfst. An unserem Schema würden die beiden letzteren noch hinzukommenden Möglichkeiten zu versinnlichen sein, wenn man entweder dieselben fest mit einem Bande zusammenschlösse und so in die Flüssigkeit versenkte, oder ihnen eine drei-, vier- oder sechsseitige Säulengestalt ertheilte, und so überall im Innern des Bündels trockenes Zink an trockenes Zink stofsen liefse. Nur ein Unterschied würde durch diese verschiedenen Anordnungen bedingt sein, der jedoch am Muskelbündel selber begreiflich der

thatsächlichen Untersuchung entzogen bleiben würde. In dem Falle (I) nämlich würden ohne Bogen keine Gesammtströme am Querschnitte verlaufen, in dem (II) käme der Strömungsvorgang in allen Stücken mit demjenigen am einfach cylindrischen Schema überein, in dem (III) würden ohne Bogen zwar Gesammtströme vorhanden sein, sich aber mit den ausserdem kreisenden radialen Partialströmen auf verwickelte Weise zusammensetzen. Auf alle Fälle müfste, bei diesen Voraussetzungen, zur Erklärung der Ströme des künstlichen Querschnittes, noch die mehrbesprochene Annahme beibehalten werden, dafs derselbe sich auf irgend eine Art alsbald wieder mit einer Schicht unwirksamen Leiters überzieht.

Wir schreiten jetzt zu der Betrachtung der neuen Klasse von Voraussetzungen, welche uns durch die Untersuchungen der vorigen Nummer an die Hand gegeben worden ist. Danach ist es, um, bei angelegtem Bogen, die Ströme des Längsschnittes zu erzeugen, ebensowenig nöthig, dafs dieser das positive Kettenglied in ununterbrochener Ausdehnung darbiete, als dies für das negative Glied am Querschnitte der Fall ist, damit derselbe die ihm zukommenden schwachen Ströme aufweisen könne. Wenn wir also z. B. die einfach cylindrische Vorrichtung durch eine Reihe von Schnitten senkrecht auf ihre Axe in eine geldrollen- oder säulenartige Anordnung umwandelten, wobei wir den feuchten Leiter in die Zwischenräume zwischen den einzelnen Scheiben oder flachen Cylindern hineinfliefsen lassen, so würde dieses Schema nichtsdestoweniger fortfahren, elektromotorisch im Sinne des Gesetzes zu wirken. Und, anstatt so zu verfahren, würden wir, mit dem nämlichen Erfolge, ringförmige Streifen aus dem Zinkmantel des Cylinders entfernen können; denn wo jetzt das negative Glied unmittelbar als erste isoëlektrische Oberfläche von seiner Seite her zu Tage läge, befand sich, bei der ersteren Anordnung, annähernd eine isoëlektrische Oberfläche überhaupt, was, wie schon früher bemerkt wurde (S. oben S. 639. 662), für uns ganz auf Eins hinausläuft. Bei der ersteren Anordnung aber, wobei wir den Cylinder zu einer geldrollenähnlichen Anordnung auflösen, und den feuchten Leiter zwischen die einzelnen, ihn zusammensetzenden Scheiben fliefsen lassen, könnten wir nunmehr, wie man leicht bemerkt, der Voraussetzung entbehren, dafs sich jeder künstliche Querschnitt alsbald wieder auf irgend eine Weise mit einer Schicht eines unwirksamen Leiters überzieht. Denn man braucht sich nur jede Scheibe so dünn vorzustellen, dafs sie nicht mehr durch einen Schnitt in zwei trennbar ist, während dies für die dazwischen befindliche Feuchtigkeit, ohne dafs sie ihre Eigenschaften als unwirksamer Leiter einbüfst, sehr gut der Fall sein kann, so findet sich, bei jeder Spaltung senkrecht auf die Axe, jede neue Fläche sogleich mit einem

verbindenden Axen nur sämmtlich einander und der Axe des Muskels parallel sind, wird die Anordnung im Sinne des Gesetzes des Muskelstromes wirksam sein. Denken wir uns, der Einfachheit halber, die elektromotorischen Elemente sphärisch, so stellt also Fig. 72. Taf. VI schematisch einen Muskellängsschnitt nach der in Rede stehenden Annahme vor; die negativen Polarzonen der Sphären sind dunkler, die positive Aequatorialzone heller gehalten, die Begrenzung *LS* stellt Längsschnitt, die Begrenzung *QS* Querschnitt vor, der schraffirte Grund ist unwirksamer feuchter Leiter. In der Figur sind die einzelnen Elemente der Axe des Bündels parallel und in Querebenen senkrecht darauf angeordnet gedacht; obschon diese Vorstellungsweise als die gefälligere erscheint, so bemerkt man doch leicht, dafs sie physikalischerseits auch nicht einmal nothwendig ist, damit das Ganze nach dem Gesetze des Muskelstromes elektromotorisch wirken könne. In der Fig. 73. Taf. V sieht man, für den Fall der regelmäfsigen Anordnung einer Gruppe von vier dergleichen Elementen, die isoëlektrischen Curven angegeben, wie sie sich, mit gleichen absoluten Spannungen, an den Begrenzungen der entsprechenden Massen unwirksamen Leiters treffen müssen, welche jedem Elemente zugehören; das dynamische Gleichgewicht der Elektricität bleibt in allen ungestört. Unter der Voraussetzung keiner solchen regelmäfsigen Anordnung der Elemente wird dies natürlich der Fall nicht mehr sein, es wird hie und da ein Uebergreifen der Strömungsvorgänge aus der einen Partialvorrichtung in die andere stattfinden, und durch den ganzen Muskel hindurch ein ähnliches Gewühl kleiner Gesammtströme um mehr oder weniger ausgedehnte Elementengruppen zu Stande kommen, wie es oben S. 656. vom Querschnitte allein geschildert wurde.

Ich habe nicht ermangelt, um den Vorwurf grundloser Speculationen von mir abzuwenden, an dieser hervorragenden Stelle einmal wieder die Zuverlässigkeit meiner Schlufsfolgen durch den Versuch an einer schematischen Zinkkupfervorrichtung unmittelbar zu erhärten. Auf folgende Weise habe ich versucht, die in Rede stehende Annahme vom Bau der thierischen Erreger möglichst getreu in der Wirklichkeit nachzubilden. Ich liefs Röhren aus Kupferblech von 11$^{mm}$ Durchmesser im Metall ziehen, und dem Mantel derselben entlang einander diametral entgegengesetzt zwei Zinkstreifen von solcher Breite auflöthen, dafs der Umfang der Röhren dadurch in vier gleich breite Streifen abwechselnd von Zink und Kupfer getheilt war. Die Röhren wurden, senkrecht auf ihre Axe, in lauter 12.5$^{mm}$ lange Stücke geschnitten, das Zink amalgamirt, das Kupfer inwendig gefirnifst, und die Elemente, 72 an der Zahl, mit ihren kreisförmigen Rändern sämmtlich in etwa 1$^{mm}$ Entfernung von einander und in sechs Reihen auf ein Brettchen von 145$^{mm}$ Länge und

85$^{mm}$ Breite so aufgekittet, dafs sie ihre Zinkseiten sämmtlich der langen, ihre Kupferseiten der kurzen Seite des Brettes zukehrten. Fig. 74. Taf. VI zeigt diese Vorrichtung in perspectivischer Projection, Fig. 75 ein Stück derselben im Grundrifs von unten gesehen.[1] Man hat sich dieselbe aus dem Schema Fig. 71 so entstanden zu denken, dafs man durch die Mittelpunkte aller Kugeln in demselben zwei einander unendlich nahe Ebenen parallel gelegt, und die so erhaltene unendlich dünne Scheibe senkrecht auf ihre eigene Fläche zu der endlichen Dicke von 12.5$^{mm}$ ausgedehnt oder verdickt hat.

Das Brettchen, welches die 72 Elemente trug, war gefirnifst und hatte an seiner oberen freien Fläche einen Griff. An diesem konnte die Vorrichtung in den oben S. 644 beschriebenen, mit Brunnenwasser gefüllten Trog versenkt werden. Das Wasser stand dabei im Troge nur etwa 6$^{mm}$ hoch, indem die Luft in den Röhren dasselbe nicht in diese hineinliefs, und es demgemäfs beim Eintauchen der Vorrichtung noch um eben so viel stieg. Wegen der grofsen Schwäche der Wirkungen wurde es nöthig, meist in der Art zu verfahren, die uns bei einer späteren Gelegenheit noch sehr geläufig werden wird, und die wir auch schon früher (S. oben S. 601) einigemale angewendet haben, dafs nämlich, während die Ableitungsplatten in der Flüssigkeit ruhig standen, die Vorrichtung plötzlich vor denselben in angemessener Stellung eingetaucht wurde. Um dabei den Stofs der Kupferröhren auf den Boden des Troges zu lähmen, wodurch sie häufig aus dem Kitte brachen, wurde derselbe mit feuchter Pappe überzogen. Zwischen den einzelnen Versuchen wurde die Vorrichtung, nachdem das Wasser aus den Zwischenräumen der Röhren mittelst Fliefspapier oder Linnen aufgesogen worden war, über der Weingeistflamme getrocknet und so weit erwärmt als der Kitt es zuliefs, um nämlich die letzten Spuren der Polarisation zu tilgen.

Bei dieser Art des Versuches erhielt ich zwischen Längs- und Querschnitt 20°, vor Längsschnitt und vor Querschnitt allein 8 — 10° Ausschlag in dem durch das Gesetz des Muskelstromes geforderten Sinne. Die Vorrichtung stand, wenn nur Längsschnitt abgeleitet werden sollte, in gleicher Entfernung von den beiden kurzen Wänden des Troges, der einen langen Wand desselben etwas näher, um den vor der anderen Wand befindlichen Ableitungsplatten Raum zu geben. Sollte nur Querschnitt abgeleitet werden, so war sie symmetrisch zur Längsmittellinie des Troges gestellt und gegen die eine kurze Wand verschoben. Bei der Ableitung von Längs- und Querschnitt zugleich endlich mufste sie

[1] Die Vorrichtung ist im Besitze des hiesigen Königl. Anatomischen Museums.

in der Diagonale etwas verrückt werden, um vor beiden Begrenzungen Raum für die 25''' breiten Platinplatten übrig zu lassen. Ich wiederholte indefs auch alle Versuche mit gleichem Erfolge bei ganz symmetrischer Stellung des Erregers im Troge und den Wänden parallel gestellten Ableitungsplatten, wobei die Aehnlichkeit der Verhältnisse mit den am Muskel, nach der in Rede stehenden Voraussetzung, obwaltenden insofern noch gröfser ausfällt, als dabei mehrere Elemente auf die Breite der Fufspunkte des Bogens kommen (S. oben S. 647).

Diese Anordnung der Versuche entspricht, wie man sieht, derjenigen an dem aus mehreren cylindrischen Vorrichtungen zusammengesetzten Schema, wobei dasselbe in eine Flüssigkeitsmasse von beträchtlich gröfserem Durchmesser versenkt wurde. Sie hat den Vorzug, dafs sich dabei das Gesetz des Muskelstromes in seiner ganzen Ausdehnung bestätigen läfst, aber es ist dagegen zu erinnern, dafs die schwachen Ströme von Längs- und Querschnitt nicht völlig auf die nämliche Weise gewonnen sind, wie man annehmen mufs, dafs es am Muskel selber der Fall ist. Hier sind, nach unserer jetzigen Annahme, weder am Längsschnitte, noch am Querschnitte, ohne Gegenwart des Bogens Ströme vorhanden; hingegen an dem uns beschäftigenden Schema werden dergleichen unbedingt entstehen, so wie die den zusammengesetzten Erreger umgebende Wasserschicht, wie bisher, auf zwei aneinanderstofsenden Seiten des Rechteckes gröfsere Dicke hat, als der halbe Zwischenraum zwischen zweien der Erregerreihen im Innern der Vorrichtung beträgt. Es haben deshalb auch die Erfolge der Versuche über das Aufsteigen der Curve der Stromstärken beim Verschieben des Bogens von beständiger Spannweite von der Mitte nach den Enden der Vorrichtung hin, über den Einfluſs der Spannweite auf die Stromstärke beim Ableiten von einer Begrenzung allein, oder von beiden zugleich, keinen wirklichen Werth, obschon sie dem Gesetze des Muskelstromes zu entsprechen schienen. Um mit Strenge die Ströme des Längs- oder des Querschnittes mit Hülfe dieser Vorrichtung nachzuahmen, mufste vielmehr eine Anordnung getroffen werden, der ähnlich, die für das Bündel von Stäben mit Hülfe des quadratischen Gehäuses ins Werk gesetzt wurde. (S. oben S. 661). Dies geschah folgendermafsen.

Von dem inneren Raume des Troges sonderte ich mittelst einer queren auf die hohe Kante gestellten gefirnifsten Holzleiste, die auf dem Boden und an die langen Wände desselben angekittet war, ein Rechteck von gleicher Breite mit dem Troge, aber nur etwas mehr als 145''' Länge ab. Wurde nun die Vorrichtung in dasselbe, in ganz beliebiger Stellung zu den beiden langen Wänden eingetaucht, so ist deutlich, mufste das dynamische Gleichgewicht der Elektricität in jeder der que-

ren Reihen von Erregerröhren ungestört bleiben, weil die beiden äufsersten zur Gesammtvorrichtung nur eine ungefähr gleiche Flüssigkeitsmasse mitbrachten, wie alle inneren. Vor der längeren Seite der Vorrichtung herrschte demnach jetzt, ohne Gegenwart des Bogens, kein Gesammtstrom mehr; sie bot ein getreues Bild der entsprechenden Begrenzung am Muskel nach der in Rede stehenden Voraussetzung dar. Und es zeigte sich, wie dem nicht anders sein konnte, dafs durch den Bogen die gesetzmäfsigen Ströme, wenngleich äufserst schwach, wirklich erzeugt wurden. Ihre Stärke stieg, von der Mitte nach den Enden zu, an; ob in einer gegen die Abscisse convexen und concaven Curve, liefs sich nicht mit Sicherheit ermitteln. Sie war am gröfsten für die Spannweite des Bogens = der halben Länge der ganzen Vorrichtung. Um den Strom zwischen Längs- und Querschnitt zugleich an dieser Vorrichtung zu prüfen, gab es begreiflich wieder nur den künstlichen oben S. 661 in Vorschlag gebrachten Weg, der aber hier ebensowenig ins Werk gesetzt worden ist.

Es wird, wenn ich nicht irre, nach dem Allen nicht leicht in Abrede gestellt werden können, was durch den Versuch zu bekräftigen unsere Absicht war, dafs eine Anordnung der ungleichartigen Bestandtheile, gleich der beschriebenen, in den Fig. 72—75 wahrnehmbaren, wirklich nach dem Gesetze des Muskelstromes elektromotorisch zu wirken im Stande sei. Dafs diese Anordnung gleichzeitig die oben von der Formenlehre gestellten Forderungen ausreichend befriedige, endlich, dafs sie sich unseren etwaigen physiologischen Erklärungszwecken nicht allzu widerstrebend erweisen dürfte, liegt seinerseits auf der Hand. Weshalb sie physikalisch die zierlichste und ansprechendste genannt wurde, wird unten erhellen; als die allgemeinste aber verdient sie deshalb bezeichnet zu werden, weil es, wenn einmal ihre Zulässigkeit anerkannt ist, keine andere mehr giebt, deren gleiche Zulässigkeit nicht unmittelbar aus derselben abgeleitet werden könnte, ohne dafs es einer neuen, eigens auf jene bezüglichen Beweisführung bedürfte.

In der That, lassen wir jetzt z. B. die sphärischen Elemente in Fig. 72 sich in der Längsrichtung nähern, so dafs alle negativen Pole zusammenstofsen; es ist klar, dafs dies dem Gesetze der Wirksamkeit des Ganzen unbeschadet vor sich gehen kann. Verwandeln wir die Kugeln in Cylinder, indem wir die positiven Aequatorialzonen zum Mantel ausziehen, die negativen Polarzonen zu den Grundflächen einschrumpfen lassen, und lassen diese aneinanderstofsen, so haben wir die Anordnung wieder erreicht, die oben S. 668 näher beleuchtet wurde. Es wurde daselbst gesagt, dafs eine leichte Abänderung hinreiche, diese Anordnung zu den physiologischen Erklärungszwecken tauglich und den

morphologischen Forderungen entsprechend zu machen: hier haben wir diese Abänderung, welche darin besteht, dafs wir uns die cylindrischen Partialvorrichtungen nicht continuirlichen Stäben gleich, sondern aus cylindrischen Elementen von derselben Beschaffenheit der Länge nach zusammengefügt vorstellen. Ebenso aber, wie in diesem Falle mit den negativen Polarzonen, können wir mit den positiven Aequatorialzonen der sphärischen Elemente verfahren; sie nur innerhalb des unwirksamen feuchten Leiters aneinanderstofsen, oder einander in der queren Richtung gänzlich berühren lassen, wobei sie aber die kreisförmige Gestalt ihres Querschnittes mit der eines mannigfach gestalteten Vielseits vertauschen müssen. Auch beide Veränderungen, betreffend die Polar- und die Aequatorialzonen, können gleichzeitig vor sich gehend gedacht werden, entsprechend alsdann den verschiedenen Abänderungen, denen, wie wir fanden, die Voraussetzung der cylindrischen Partialvorrichtungen, dem Gesetze unbeschadet, unterworfen werden konnte; nur dafs die praeformirte Discontinuität in der Richtung der Längenaxe hinzutritt, um den physiologischen und morphologischen Rücksichten Genüge zu thun.

Alle diese Fälle sind möglich, und die Aufgabe, deren Bewältigung wir uns in diesem Paragraphen unterzogen haben, daher im Grunde völlig unbestimmt. Die Lösungen derselben aber zerfallen, um Alles dieses noch einmal übersichtlich zusammenzufassen, in zwei wesentlich unterschiedene Abtheilungen. Die eine begreift die Anordnungen mit stetig positivem Längsschnitt in sich, und ist dadurch bezeichnet, dafs sie demgemäfs, auch bei Abwesenheit des Bogens, Ströme des Längsschnittes besitzt. Die andere setzt Unterbrochenheit des Längsschnittes durch feuchten Leiter oder durch das negative Kettenglied voraus; hier können erst bei Gegenwart des Bogens Ströme am Längsschnitte fliefsen. Das Stattfinden der einen oder der anderen Abtheilung in der Wirklichkeit vermöchte nur dann mit Sicherheit unterschieden zu werden, wenn es möglich wäre, die Gestalt der Curve der Stromstärken in dem Bogen von beständiger Spannweite bei seinem Verschieben von dem elektromotorisch mittleren Querschnitte nach den Endquerschnitten hin für beide Fälle theoretisch zu ermitteln und sie mit der der Curve zu vergleichen, die das Gesetz des Aufsteigens der Stromstärken am wirklichen Muskellängsschnitte wiedergiebt.

Ich brauche nicht zu erinnern, dafs hievon die Rede nicht entfernterweise sein kann, und dafs wir somit hinsichtlich des Stattfindens der einen oder der anderen Abtheilung in der Wirklichkeit im Dunkel bleiben. Was den Querschnitt betrifft, so herrscht dieselbe Dunkelheit nur in Betreff des Querschnittes der einfachen Muskelbündel. Der Querschnitt des zusammengesetzten Bündels oder des Gesammtmuskels

ist erfahrungsmäfsig durch den unwirksamen Leiter vielfach maschenförmig unterbrochen, und es finden folglich an ihm, den S. 656. 657 gepflogenen Erörterungen gemäfs, bei Abwesenheit des Bogens, höchstens unregelmäfsige kleine Gesammtströme vor mehr oder minder ausgedehnten Gruppen von Bündeln, oder, am natürlichen Querschnitte, gröfsere Strömungen der Art wegen ungleicher Dicke des sehnigen Ueberzuges statt. Hinsichtlich des Querschnittes des einfachen Bündels ist übrigens noch Folgendes zu erwähnen. Es wäre möglich, dafs derselbe, obschon dem Schema Fig. 63 zu vergleichen, nichtsdestoweniger freiwillig mit nach dem Mittelpunkte strebenden Strömungen überzogen wäre. Dies könnte dann der Fall sein, wenn die Dicke der unwirksamen Hülle des Bündels den Abstand der einzelnen Elemente in demselben in der queren Richtung merklich überstiege. Dadurch würde die Anordnung der Fig. 71 abgebildeten ähnlich werden, wo an jedem Durchmesser des Querschnittes gleichsam zwei Endlücken sich befinden. (Vergl. Fig. 68 und oben S. 651. 660).

Dies sind, wie bemerkt, Punkte, welche der physikalischen Erforschung wohl für immer entzogen bleiben werden. Nur eine ganz andere Art der Betrachtung wird möglicherweise im Stande sein, hier eine Entscheidung im Grofsen zwischen der einen und der anderen Klasse von Anordnungen zu fällen, die nach dem Gesetze des Muskelstromes elektromotorisch zu wirken vermögen. Dies wird die physiologische sein, wenn sie, aus dem vorhandenen Stoffe sich eine Vorstellung zurechtlegend von dem elektrochemischen Molecularmechanismus der Zusammenziehung, diese oder jene Annahme über den Bau der Muskeln als Erreger ihren Zwecken genehmer finden wird als manche andere, und wenn es ihr gelingt, die Willkürlichkeit in diesem Verfahren über dem Drange einfacher Schlufsfolgen und über dem Einleuchtenden des Ergebnisses vergessen zu machen. Die Auseinandersetzung, wie weit es uns verstattet sein mag, dem Inhalte nach auszuführen, was hier nur der Form nach angedeutet werden kann, bleibt dem vierten Abschnitte dieses Werkes vorbehalten, wo wir den Versuch machen wollen, die neuen an den Muskeln und Nerven entdeckten Erscheinungen wo möglich mit ihren sonstigen Lebenseigenschaften zu verketten. Man vermag sich indefs leicht zu denken, wie enge Grenzen unser in dieser Beziehung warten mögen, wenn man erwägt, dafs zu dem Spiele physikalischer Kräfte sich hier noch chemische gesellen, während noch nicht einmal versucht worden ist, auch den einfachsten Vorgang der anorganischen Chemie mit dem mechanischen Verständnisse zu durchdringen.

## 9. Schlufsbemerkungen über die Anordnung der ungleichartigen Bestandtheile in dem Muskelbündel.

Es bleibt uns übrig, das Ergebnifs der nunmehr abgeschlossenen Untersuchung über die Anordnung der ungleichartigen Gebilde im einfachen Muskelbündel noch aus einem anderen, etwas allgemeineren Gesichtspunkte zu betrachten, als es im Vorigen geschehen konnte. Es wird uns von Nutzen sein, wenn es uns gelingt, aus dem Gedränge der Einzelheiten, die wir nach mannigfachen Richtungen zu berücksichtigen hatten, ein über alle schwebendes, gemeinsames Bild zu entnehmen, welches wir in der Folge leichter davontragen können, als den künstlichen Bau immer weiter sich verzweigender Möglichkeiten, in den sich zuletzt unsere Vorstellungen zersplitterten. Man verstatte mir, um diesen Zweck am vollständigsten zu erreichen, zuvörderst einen, scheinbar sehr weit entlegenen Ideenkreis bei dem Leser zu erwecken.

Vom Magnete redend sagt Ampère:[1] »Quand on admet que les »courans ont lieu autour de chaque particule, il faut toujours, pour se »faire une idée juste des effets qu'ils doivent produire, considérer une »particule comme nous avons considéré l'aimant entier; et dans ce cas »même il serait plus commode d'appliquer d'abord directement à celui-ci »ce qu'il y aurait à dire de chaque particule, et d'ajouter ensuite cette »simple observation que l'on peut toujours substituer à l'aimant total »autant de petits aimans qu'il contient de particules. C'est ainsi que »dans l'hypothèse des deux fluides magnétiques on supposa d'abord »que lorsque ces deux fluides se séparaient dans un barreau d'acier, »ils étaient chacun transporté à une des extrémités du barreau, et »qu'on admit ensuite que la décomposition n'avait lieu que dans leurs »plus petites parties, et qu'il n'y entrait ni n'en sortait jamais aucune »molécule de l'un des deux fluides. Quoique ces deux manières de »considérer la séparation des deux fluides magnétiques conduisent en »général aux mêmes résultats, la nature des pôles qui se développent »aux extrémités des deux fragmens d'un aimant que l'on casse, par »lesquelles ils adhéraient avant la rupture, eut bientôt décidé entre »elles, parceque cette circonstance ne pouvait s'expliquer que dans la »seconde hypothèse.«

Wer dem Gange der Verhandlungen dieses Paragraphen mit Aufmerksamkeit gefolgt ist, wird nicht lange in Zweifel sein, in welchem Sinne an dieser Stelle auf die obige Auseinandersetzung hingewiesen

[1] Ampère et Babinet, Exposé des nouvelles découvertes sur l'Électricité et le Magnétisme. Paris 1822. p. 90.

werden könne. In dem Bilde, welches dieselbe mit eben so einfachen als klaren Zügen von der Entwickelung der Moleculartheorie des Magnetes entwirft, wird er sogleich, vielleicht nicht ohne Ueberraschung, ein treues Gegenstück zu der Reihe immer mehr sich ins Innere vertiefender Schritte erkannt haben, wodurch wir schliefslich zur Moleculartheorie der thierischen Erreger gelangt sind. Denn nachdem wir das Gesetz der abgeleiteten Ströme an dem Gesammtmuskel festgestellt hatten, entdeckten wir, dafs jedes Bruchstück desselben, welches seiner Axe nach und senkrecht darauf abgespalten werde, ebenfalls nach demselben Gesetze elektromotorisch zu wirken im Stande sei. Wie die Beobachtung, dafs sich an den beiden neuen Enden eines zerbrochenen Magnetstabes alsbald wieder Pole entwickeln, die doch unmöglich durch die mechanische Gewaltthätigkeit hervorgerufen worden sein können, ohne Widerrede zwischen den beiden möglichen Theorieen des Magnetes zu entscheiden geeignet war,[1] so durfte auch, nach Uebertragung des Gesetzes des Muskelstromes auf künstlich begrenzte Muskelbruchstücke, kein Zweifel mehr an der Unrichtigkeit der Vorstellungsweise übrig bleiben, welche den Gesammtmuskel selbst bereits als den einfachen Träger des hier wirksamen elektromotorischen Gegensatzes hätte anerkennen wollen. Da, beim Zerbrechen des Magnetes, sich derselbe Erfolg kundgiebt, ganz gleichviel, wo dasselbe geschah, und da der Stahl innerhalb der Grenzen der Sichtbarkeit überhaupt keine Spuren einer Discontinuität seines Gefüges wahrnehmen läfst, so findet, für die Theorie des Magnetes, kein Mittelweg statt zwischen der Annahme, welche den Gesammtmagnet als den Träger der anziehenden und abstofsenden Kräfte betrachtet, und derjenigen, welche die nämliche Anordnung dieser Kräfte in seinen kleinsten Theilen voraussetzt. Nicht so in der Theorie des Muskels als thierischen Erregers; hier stöfst man, beim Vorschreiten vom Gesammtmuskel bis zu seinen kleinsten Theilen, wenn man beim einfachen Bündel angelangt ist, auf eine Discontinuität, über welche nicht so leicht hinweggestiegen werden darf. Es mufs erst zugesehen werden, ob nicht etwa zwischen der Hülle der Muskelbündel und ihrem Inhalte der elektromotorische Gegensatz herrsche, auf dem der Muskelstrom beruht. Dafs dies nicht der Fall sein könne, wurde jedoch bereits im ersten Para-

[1] Der Erste, der, meines Wissens, die Moleculartheorie des Magnetes entwarf, und dadurch die Schwierigkeiten beseitigte, die für die früheren Hypothesen aus jenem Experimentum crucis erwuchsen (S. Aepinus, Tentamen Theoriae Electricitatis et Magnetismi. Petropoli 1759. 4°. p. 102;* — van Swinden, Recueil de Mémoires sur l'Analogie de l'Électricité et du Magnétisme etc. A la Haye. 1784. t. I. p. 367. t. II. p. 55.*), war Coulomb selber (Gren's Neues Journal der Physik. 1795. Bd. II. S. 333.*).

graphen dieses Kapitels gezeigt, und ist seitdem noch entschieden bestätigt worden. Wir dürfen also, von diesem Gesichtspunkte aus, unsere Forschung dreist auf das Innere des Muskelbündels ausdehnen, welches uns erst in Form von Leichenveränderungen Zeichen der Discontinuität darbietet. So gerathen wir physikalisch zunächst auf die Vorstellung dieses Inneren als zusammengesetzt aus unzählig vielen äufserst dünnen Cylindern oder Prismen, an denen die Vertheilung der ungleichartigen Gebilde dieselbe sein soll wie die, welche zuerst, um das Gesetz des Muskelstromes zu erklären, am Gesammtmuskel selber angenommen wurde, nämlich Cylindern oder Prismen mit positivem Mantel und negativem Kern. Aber indem wir uns der Verpflichtung entledigten, das Zustandekommen der Ströme des Querschnittes am Gesammtmuskel aus dem Zusammenwirken der einfachen Muskelbündel, oder, was physikalisch auf Eins hinausläuft, aus dem Zusammenwirken jener Elementarcylinder zu erklären, ward uns zugleich die Einsicht in die Möglichkeit, an die Stelle derselben in dem Muskelbündel, und somit an die Stelle dieses im Gesammtmuskel, eine unbegrenzte Anzahl elektromotorischer Elemente treten zu lassen, welche nach allen drei Ausmessungen gegen den Gesammtmuskel immerhin verschwinden, und deren Form und manche Einzelheiten in der Anordnung wir als völlig gleichgültig erkannten. Nur eine Bedingung sollten diese Elemente erfüllen: sie wurde damals so ausgesprochen, dafs sie sämmtlich zwei negative Polar- und eine positive Aequatorialzone besitzen, und dafs die beide Pole verbindenden Axen aller einander und der Axe des Muskelbündels parallel sein müfsten.

Allgemeiner und übersichtlicher ist uns jetzt hervorzuheben vergönnt: Diese Vorstellungsweise ist nichts als ein fernerer Schritt in demselben Sinne, den wir von Anbeginn der Untersuchung ab stetig verfolgt haben. Erst setzten wir die elektromotorische Begabung des Gesammtmuskels halb thatsächlich, halb vermuthungsweise, am einfachen Bündel fest, und diese Annahme leistete den Erscheinungen hinlänglich Genüge. Nun zerlegen wir in Gedanken das einfache Bündel wiederum in Massetheilchen, welche sämmtlich in dem Sinne des Gesetzes des Muskelstromes elektromotorisch zu wirken vermögen, und auch diese Meinung hält noch Stich, um das Erscheinen desselben Gesetzes am Gesammtmuskel zu erklären.

In der That, der Muskel, und, wie wir später lernen werden, der Nerv,[1] das elektromotorische Organ der Zitterfische,[2] der Magnet, die

[1] S. unten, Kap. VI. §. III.
[2] S. unten, Kap. X. §. II. III.

Volta'sche Säule, der Turmalin, der doppeltbrechende Krystall, die den Lichtstrahl um seine Axe windende Flüssigkeit; alle diese Systeme können, unbeschadet dem allgemeinen Gesetze ihrer Wirksamkeit, in Stücke geschnitten werden: da das Ganze nur vermöge der Beschaffenheit der Theile seine Eigenschaften entfaltete, so findet man dieselben ebenmäfsig an jedem beliebigen Bruchstücke wieder.

Klar ist jetzt, weshalb oben als die zierlichste und ansprechendste aller hier möglichen Molecularhypothesen die S. 671 erörterte, Fig. 73. 74 dargestellte angesprochen worden sein mag. Nicht blos weil sie, beim Zerschneiden senkrecht auf die Axe, alsbald alle Bedingungen zur Abgabe der schwachen Ströme des Querschnittes wiederum erfüllt, ohne dafs eine fernere Voraussetzung zu Hülfe gerufen zu werden brauchte, denn dies fährt sie auch dann noch zu thun fort, wenn man sämmtliche Aequatorialzonen in ihrer ganzen Ausdehnung an einander stofsen läfst, wobei sie aufhört, jenes Vorzuges würdig zu sein, — sondern weil durch sie jedem letzten Elemente in allen Stücken genau dieselbe Begabung zugeschrieben wird, welche zuerst, aus den Versuchen an dem nur durch natürliche Flächen begrenzten Gesammtmuskel, diesem selber zuerkannt werden mufste.

So wurde physikalisch, wie gesagt, die Möglichkeit einer Molecularhypothese des Muskels als elektromotorischen Organs ins Licht gestellt; aber schon traten anderweitige Betrachtungen hinzu, welche diese Meinung vor Allem als wahrscheinlich und wünschenswerth erscheinen lassen mufsten. Als wahrscheinlich zeigte sie uns die Lehre von dem feineren Baue des Muskelgewebes; als wünschenswerth die Vorstellung von der Zusammenziehung als einem Molecularvorgange, zu dessen Ableitung hier vielleicht ein erster Schlüssel gewonnen sein mochte. Es wurde aber auch bereits verkündet, dafs spätere Erfahrungen jene Hypothese als nothwendig beglaubigen und dadurch zur Theorie erheben kommen würden; hier will ich sogleich, um die Begriffe über einen so wichtigen Punkt möglichst festzustellen, im Voraus die Natur der Gründe bezeichnen, die zu uns in diesem Sinne sprechen werden.

Es steht uns nämlich bevor, eine Reihe von Thatsachen aufzudecken, die wir die »Bewegungserscheinungen« des Muskel- und des Nerven-) Stromes nennen werden, und deren allgemeine Bedeutung eine mehr oder weniger, häufig blitzschnell vor sich gehende Veränderung des Gesetzes jener Ströme ist. So z. B. erscheint der Mantel des Muskels negativ, sein Querschnitt positiv, d. h. die Ströme haben gänzlich ihr Zeichen verkehrt; oder es läfst sich die Anordnung der ungleichartigen Gebilde, welche man vom Gesetze des Muskelstromes aus zu erschliefsen genöthigt ist, durch gewisse Kunstgriffe blitz-

schnell in die einfach säulenartige umwandeln. Da es nun völlig undenkbar ist, dafs unter diesen Umständen eine Wanderung elektropositiver und -negativer Stoffe in wägbaren Mengen und auf mannigfaltig sich kreuzenden Bahnen von sehr endlicher Ausdehnung von den einen Punkten des Muskels zu den anderen stattfinde, so bleibt, vernünftigerweise, durchaus nichts anderes übrig, als die Molekeln des Muskels selber als elektromotorisch zu betrachten, und, was keine weiteren Schwierigkeiten mehr hat, jene Veränderungen in sie hinein als Molecularvorgänge einer neuen, höchstens dem Vorgange des Magnetisirens zu vergleichenden Art zu verlegen.

Auf Grund dieser Bevorwortung gehen wir fortan, bei Gelegenheiten, die wir übrigens eher nach Kräften meiden als aufsuchen dürften, von der Molecularhypothese des Muskels als elektromotorischen Organes aus. Die hypothetischen, im Muskel wirksamen Elemente werden wir „**elektromotorische Muskelmolekeln**" nennen. Die daran erkannte besondere Anordnung der ungleichartigen Bestandtheile, die nämliche, die das einfach cylindrische Schema besafs, und die man zuerst geneigt ist, dem Gesammtmuskel selber beizumessen, schlage ich vor, mit dem Namen der „**peripolaren Anordnung**" — ähnlich dem *οἶκος περίπτερος* altgriechischer Bauordnungen[1] — zu belegen, weil das Bezeichnende derselben der ringförmige ungleichartige Streifen am Aequator der irgendwie gestalteten Elemente ist, wodurch der ganze Umfang desselben als positiver Pol den beiden negativen Polarzonen entgegentritt.

Schliefslich spreche ich die Warnung aus, die durch die obigen, unseren späteren Ergebnissen vorgreifenden Bemerkungen, wohl hinreichend erläutert wird, dafs man sich das Bild der peripolar elektromotorischen Muskelmolekeln, und also auch des auf sie zurückgeführten Gesetzes des Muskelstromes nur ja nicht als ein wesentliches, unveränderliches, einzig gültiges und gesetzmäfsiges einpräge, wozu das Gewicht freilich leicht verführen könnte, welches wir, im Laufe verworrenster Untersuchung plötzlich auf solche sichere Fährte stofsend, darauf gelegt haben. Vielmehr sei hier alsbald voraufbemerkt, dafs die peripolare Anordnung sogar während des unverletzten Lebens der Muskeln im Körper nicht, oder nur spurweise und nicht mit Bestimmtheit nachweisbar, vorhanden ist, dafs mehrere andere Anordnungen in der Folge, als unserem Interesse gegenüber gleichberechtigt, sich uns darbieten werden, und dafs jene vor diesen nur dadurch ausgezeichnet ist, dafs sie der Zustand zu sein scheint, in welchen die Muskelmolekeln sich

[1] Athenaeus ex recensione G. Dindorfii. Lipsiae 1827. vol. I. p. 450. 451.

unter den Umständen, unter denen wir die thierischen Glieder zu untersuchen pflegen, fast immer mit grofser Regelmäfsigkeit begeben. Es wird sich zeigen, dafs wir an die Stelle der peripolar elektromotorischen Molekeln mit mehrerem Rechte Gruppen „**dipolar**" elektromotorischer Molekeln treten zu lassen haben, welche, einem mit seinen Flächen zusammengelötheten Plattenpaare vergleichbar, einfach einen positiven und einen negativen Pol besitzen und sich, unter den bezeichneten Umständen, in peripolarer Anordnung zusammenfügen.

## 10. Matteucci's Ansicht von der Anordnung der ungleichartigen Bestandtheile im Muskelgewebe.

Endlich kann ich es dem Leser nicht ersparen, Kenntnifs von der Art und Weise zu nehmen, wie Matteucci bestrebt gewesen ist, die Aufgabe dieses Paragraphen zu lösen, welche ihm gleichfalls, wenn auch in einer seiner unvollständigen Kenntnifs des Gesetzes des Muskelstromes entsprechenden Unbestimmtheit, vorgeschwebt zu haben scheint.

Nach Matteucci soll sich der Strömungsvorgang in der offenen Muskelkette zu dem in der geschlossenen verhalten, wie, nach der bekannten elektrochemischen Ansicht, die in unendlich kleinen und mannigfaltig gerichteten Strömungen vor sich gehende Ausgleichung des beim Eintauchen eines positiven Metalles in eine verdünnte Säure sich entwickelnden Gegensatzes zur Ausgleichung desselben Gegensatzes durch einen metallischen Bogen, dessen anderes aus einem negativen Metalle bestehendes Ende in die Flüssigkeit getaucht wird. Die Rolle des positiven Metalles schreibt Matteucci dabei unbedenklich der Muskelfaser zu, welche von dem arteriellen Blute, als verdünnter Säure, angegriffen werde; die des negativen Metalles dagegen einem beliebigen Leiter, durch welchen die äufsere Oberfläche des Muskels mit seinem künstlich blofsgelegten Inneren in Verbindung gebracht wird. [1]

Eine Abänderung dieser Ansicht, auf welche Matteucci neuerdings durch Bowman's Untersuchungen über das Muskelgewebe geführt worden ist, haben wir bereits oben S. 545. 548. kennen gelernt. Danach kommt die Rolle des Zinkes Bowman's »discs« und dem Sehnengewebe in gleicher Weise zu, welches letztere Matteucci als eine Fortsetzung der ersteren betrachtet; die des Platins wird der Hülle der einfachen Bündel, Bowman's Sarkolemma, zugeschrieben; das arterielle Blut wirkt

[1] Comptes rendus etc. 6 Septembre 1841. t. XIII. p. 540.* — L'Institut. t. IX. No. 403. p. 310.* — Archives de l'Électricité. t. II. p. 450. 451.* — Annales de Chimie et de Physique. 3. Série. Novembre 1842. t. VI. p. 336. Avril 1843. t. VII. p. 458. 459.* — Traité etc. p. 124. 125.* — Leçons sur les Phénomènes physiques des Corps vivants. Paris 1847. p. 188.*

fort und fort der verdünnten Säure einer Volta'schen Kette gleich. Damit verbindet aber Matteucci immer noch die frühere Vorstellungsweise über den Zustand der nicht durch einen hinzugetragenen Bogen geschlossenen Muskelkette: »that the two electric states evolved in the »muscle neutralize each other at the same points from which they are »evolved, in the natural conditions of the muscle, and that in the muscu»lar pile imagined by myself, a portion of this electricity is put in cir»culation just as is would be in a pile composed of acid and alcali, »separated from each other by a simply conducting body.«

Matteucci hat übrigens auch versucht, ein Schema des Muskels als elektromotorischen Organes zu erfinden. Er schnitt dreieckige Stücke aus der sehr dünnen Haut des Blinddarmes, es wird nicht gesagt, welchen Thieres, und klebte daraus über einer hölzernen Form zwanzig kleine Hohlkegel von der Gröfse ungefähr eines halben Froschoberschenkels. Als sie trocken geworden waren, stellte er sich durch Schlagen frischen Ochsenblutes Faserstoff dar, und füllte damit die Hohlkegel an, nachdem er den Faserstoff zuvor in Blut getaucht hatte. Dann verband er diese zwanzig Elemente in der Art, wie er es mit den halben Froschschenkeln beim Aufbau seiner Muskelsäulen zu thun pflegt. Die Grundfläche der Kegel sollte nämlich vermuthlich negatives Muskelinneres, ihr Mantel positives Muskeläusseres darstellen. Indessen, was mich nur mäfsig Wunder nimmt, der Versuch mifslang. Die künstliche Säule wollte auch an Matteucci's empfindlichstem Multiplicator keine Spur eines Stromes abgeben, obschon, wie er sich ausdrücklich überzeugte, die Leitung des Stromes einer viergliederigen Säule aus wirklichen Muskeln fast ungehindert durch dieselbe vor sich ging.[1]

Diese Versuche, wie die obigen Behauptungen, an deren Widerlegung wir keine Mühe verschwenden wollen, da ihr Urheber sie nicht einmal der Mühe werth geachtet hat, sie mit einem Worte des Beweises oder der Rechtfertigung zu begleiten, gleichsam als ob sie sich von selbst verständen — beide können als mafsgebend für die Tiefe angesehen werden, bis zu welcher der Physiker zu Pisa in die Kenntnifs eines Gesetzes eingedrungen ist, welches er keinen Anstand nimmt, für »einen rohen und unvollständigen Ausdruck ihm gehöriger Erscheinungen« auszugeben. Einigen Folgerungen, in welche er sich dadurch zu seinem gröfsten Nachtheile verwickelt gefunden hat, werden wir übrigens noch an einer spätern Stelle unserer Untersuchung zu begegnen haben.[2]

[1] Philosophical Transactions etc. For the Year 1845. P. II. p. 294. — Annales de Chimie et de Physique. 3. Série. Septembre 1846. t. XVIII. p. 113. 114.

[2] S. unten, Kap. IV. §. IV. 3.

## §. III.

## Fernere Untersuchung der Muskeln als zusammengesetzter Erreger in physikalischem Bezuge.

Nachdem wir die Anordnung der ungleichartigen Gebilde in den thierischen Erregern, so weit es verstattet war, festgestellt haben, bleibt uns übrig, die physikalische Untersuchung derselben durch verschiedene Betrachtungen und Versuchsreihen zu vervollständigen, für die erst jetzt eine hinlänglich sichere Grundlage gewonnen sein dürfte.

### 1. Von einigen bemerkenswerthen Eigenthümlichkeiten der thierischen Erreger.

Vor allem scheint es an der Zeit, zwei Ergebnisse ausdrücklich hervorzuheben, zu denen wir schon von Anbeginn dieses Kapitels gelangt sind, und die seither fast unablässig in unseren Betrachtungen wiederkehrten, ohne dafs bis jetzt auf die Wichtigkeit derselben aufmerksam gemacht worden wäre.

Das erste ist dieses, dafs jeder thierische Erreger fortwährend als im Zustande der geschlossenen Kette befindlich zu denken ist. Nach allem Obigen kann dieser Satz keines Beweises mehr bedürfen. Er geht bereits ohne Widerrede aus der Thatsache hervor, dafs an den Muskeln eine leitende Verbindung aus an und für sich unwirksamen Gebilden, dem Sehnen- und Bindegewebe, abgesehen von der Hülle der Muskelbündel, zwischen den beiden ungleichartigen Flächenbegrenzungen hergestellt ist. Es läfst sich aber auch unabhängig von allen derartigen Vorausbetrachtungen, ganz thatsächlich und unmittelbar, der Beweis dafür geben, und dies mag nicht versäumt werden, da man leicht übersieht, von welcher Bedeutung derselbe in der Folge werden kann, und da ich nur zu gut weifs, welche Aufnahme Untersuchungen gleich denen dieses Kapitels bei Vielen zu erwarten haben, die es mit Recht bequemer finden, sich hinter den Vorwand vornehmen Zweifelns an jeder theoretischen Bestrebung ein für allemal zurückzuziehen, als den schweren Gedankengang durch immer neu sich aufthürmende Hindernisse bis zum Ziele ernstlich mit zu bestehen.

Der fragliche Beweis liegt einfach in der Möglichkeit, Ströme von den Muskeln zu erhalten, indem man sie beiderseits nur an Punkten des natürlichen Querschnittes, d. h. an beiden sehnigen Enden, deren

Gleichartigkeit doch wohl in die Augen springt, ableitend berührt. S. oben S. 495. Man denke sich nämlich eine Zusammenstellung von zwei ungleichartigen Metallen und einer Masse feuchten Leiters in unbekannter Anordnung, und es solle entschieden werden, ob dieselbe sich als geschlossene Kette verhalte oder nicht. Findet man, dafs es möglich ist, von dieser Zusammenstellung einen Strom, gleichviel in welcher Richtung, dadurch zu erhalten, dafs man mittelst eines unwirksamen leitenden Bogens, in welchen eine stromprüfende Vorrichtung eingeschaltet ist, zwei Punkte des feuchten Leiters, oder eines der beiden Metalle, mit einander in Verbindung bringt, so ist sofort bewiesen, dafs sich die Anordnung als geschlossene Kette verhält, wie sich dies ohne Weiteres aus der mehrerer Abänderungen fähigen Fig. 76 ergiebt, in welcher die mit *a, b, c* bezeichneten Verbindungen nicht eher einen Strom zu führen vermögen, als bis die mit *d* bezeichnete hergestellt ist, wodurch nämlich die Kette geschlossen wird. Die Anwendung auf den Muskel leidet keine Schwierigkeit. Je nachdem man sich des Standpunktes der Contacttheorie oder der chemischen Hypothese von dem Ursprunge des elektrischen Stromes bedienen will, d. h. je nachdem man den feuchten Leiter oder das negative Metall als den unwirksamen Theil einer Kette betrachtet, ist es der Fall *a* oder der Fall *b*, der mit hinreichender Genauigkeit auf die nur an ihren unwirksamen feuchten Leitern berührten und doch einen Strom abgebenden thierischen Erreger pafst.

Das zweite Ergebnifs ist, dafs jeder Strom, wie er auch von einem thierischen Erreger gewonnen sei, als durch Nebenschliefsung erhalten, als abgeleiteter Stromarm betrachtet werden müsse. Dieser Satz geht unmittelbar aus dem ersten hervor: man kann sich dieser Schlufsfolge nicht mehr entziehen, sobald man einmal zugegeben hat, dafs die ungleichartigen Flächenbegrenzungen des Muskels, aufser durch den im Versuch hinzugetragenen fremden Bogen, schon von vorn herein durch andere, dem Muskel selber angehörige feuchte Leiter in Verbindung gesetzt sind. Von dem Standpunkte der obigen Theorie des Muskels aber als elektromotorischen Organes liegt derselbe vollends auf der Hand. Man erinnert sich, dafs dieselbe im Grunde ganz und gar auf dieser Betrachtungsweise aufgebaut wurde. Es wird sich indefs als nicht überflüssig erweisen, jene Theorie nochmals von diesem Standpunkte aus mit kurzen Worten zusammenzufassen, indem dadurch ein Kreis neuer nicht unwichtiger Vorstellungen erweckt werden wird.

Es ist klar, dafs, für den von jeder einzelnen Molekel ausgehenden Strömungsvorgang, die ganze übrige Masse des Muskels Schliefsung

bildet. Alle diese Ströme decken sich auf allen Punkten, setzen sich zusammen, und von der Gestalt der Hüllen feuchten Leiters, die jede Molekel zur ganzen Masse des Muskels beisteuert, hängt es, früheren Erörterungen zufolge, ab, ob innerhalb des Muskels oder an seinem äufsern Umfange Gesammtströme zu Stande kommen, oder ob die Strömungsvorgänge gleichsam auf den Hof jeder einzelnen Molekel eingeschränkt bleiben.

Dabei ist vorausgesetzt, dafs der Muskel ringsum von Nichtleitern begrenzt sei; ist dies nicht der Fall, so versteht sich wiederum von selbst, dafs nicht blos die wirksamen und die unwirksamen Gebilde des Muskels von dem Strome jeder Molekel durchflossen werden, sondern auch über jeden andern Leiter, der in den Bereich desselben geräth, erstreckt sich dieser Strömungsvorgang. Also an einem in seiner natürlichen Lage befindlichen Muskel ergiefst sich die Wirkung jeder Molekel über Knochen, Nerven, Gefäfse, Sehnen u. s. f.; bei gebeugter Lage des Beines z. B., wo Oberschenkel gegen Bauch, Unterschenkel gegen Oberschenkel, Fufs gegen Unterschenkel zu liegen kommt, die jeder Molekel der Bauchmuskeln, des Oberschenkels, des Unterschenkels, des Fufses auf Fufs, Unterschenkel, Oberschenkel und den Bauch mit allen seinen Eingeweiden.

Natürlich ist es gleichgültig, ob der Leiter ein Theil des Frosches oder ein beliebiger, künstlich hinzugetragener ist; dasselbe gilt also nicht minder von dem Wasser, worin das Glied versenkt wird, der feuchten Schicht zwischen demselben und einer etwaigen isolirenden Unterlage, endlich auch in dem Falle, wo der Leiter den Muskel oder das Glied statt in gröfserer ungetrennter Ausdehnung, nur an zwei beschränkten Stellen mit seinen beiden Enden berührt, wo derselbe also in einer Strecke seiner Länge sich als freier Bogen darstellt. In diesem Falle (Vergl. oben S. 564. 567) bezeichnen wir das Verhältnifs zwischen der Strömung, die in dem hinzugetragenen Bogen stattfindet, und derjenigen, welche den Muskel selbst durchkreist, vorzugsweise als das zweier Nebenleitungen; der Strom in dem Bogen ist ein abgeleiteter Stromarm; der Bogen bildet für den Muskel, der Muskel für den Bogen, und wie der Muskel selber, jeder andere sonst im Bereiche des Strömungsvorganges befindliche Leiter Nebenschliefsung in Bezug auf den Strom jeder einzelnen Molekel. Also eine ganze Gliederabtheilung, ein ganzes Glied, ja der ganze Frosch kann für den Strom jeder Molekel eines in seiner natürlichen Lage befindlichen Muskels in Bezug auf einen beliebig beschaffenen, beliebig angelegten Bogen theilweise als Nebenschliefsung betrachtet werden.

Ein solcher Bogen ist denn der Multiplicatorkreis mit seinen Platin-

enden und seinem feuchten Zubehör an Salzflüssigkeit, Bäuschen u. s. f. bis zum Muskel hin. Durch das Hinzutragen des Bogens wird das dynamische Gleichgewicht der Electricität in dem Hof einer jeden Molekel, wenn es, Dank der Regelmäfsigkeit der Anordnung, früher noch bestehen geblieben war, unbedingt gestört; es kommen auf irgend eine Weise Gesammtströmungen zu Stande, und wir haben oben, zwar unvollkommen genug, aber doch mit ausreichender Gewifsheit zu zeigen vermocht, dafs die Erscheinungsweise dieser Gesammtströmungen in dem Bogen, bei regelmäfsig prismatischer Gestalt des Muskelbruchstückes, eben das Gesetz des Muskelstromes sei. Ich wiederhole aber von Neuem, worauf ich nicht oft und nicht kräftig genug bestehen kann (S. oben S. 512. 519. 535. 631. 658): Gewifs darf nach diesen Vordersätzen Niemand mehr die Forderung an die Lehre von der Einerleiheit des Frosch- und des Muskelstromes stellen, dafs sie ihm die bestimmte Richtung des Stromes des Gesammtfrosches oder des Galvani'schen Praeparates, oder auch nur eines einzigen unregelmäfsig gestalteten Muskels aus dem Gesetze des Muskelstromes ableite. Die Unmöglichkeit, einer solchen Forderung Genüge zu leisten, ist nach alle dem mit Händen zu greifen; aber, um auch dies treffende Gleichnifs nochmals dem Sinne des Lesers einzuprägen, wie man dem Zweifelsüchtigsten die Natur der anziehenden und abstofsenden Kräfte an einem unförmlichen Klotze gestrichenen Stahles durch das gleiche Verhalten mit einem prismatischen Magnetstabe gegenüber mannigfaltigen Einflüssen leicht als wahrhaft magnetisch darthun wird, so wird in der Folge jene Einerleiheit aus dem gleichen Verhalten des Froschstromes, des Stromes des Galvani'schen Präparates und desjenigen eines regelmäfsig gestalteten Muskelbündels gegenüber den verschiedensten Einwirkungen bis zum Ueberdrusse an den Tag gelegt werden.

Hier ist der Ort, zu bemerken, was sich übrigens leicht vorhersehen liefs, dafs jede Umhüllung des Muskels oder eines thierischen Erregers überhaupt mit unwirksamem feuchten Leiter die Stärke des Stromes im Multiplicatorkreise sogleich merklich beeinträchtigt. Dies wird künftig, bei Untersuchung des Stromes noch mit der Haut bekleideter Gliedmafsen, von grofser Wichtigkeit werden.[1] Noch knüpft sich daran folgende Wahrnehmung.

Man erinnert sich, dafs die winzige Masse eines Gastroknemius, eines Adductor magnus, ja eines Sartorius u. d. m. die Nadel meines Multiplicators an die Hemmung wirft. Dieser Strom, so mächtig er, durch die grofse Empfindlichkeit des Stromprüfers übertrieben, auf den

[1] S. unten, Kap. VIII. §. I. III.

ersten Blick erscheinen mag, ist doch immer nur ein äufserst schwaches Fädchen, dem man, wie es sich im Multiplicatorkreise kundgiebt, bei späteren Erklärungsversuchen unmöglich eine erhebliche Wirkung irgend einer Art zumuthen könnte. Allein von unserer jetzigen Theorie des Muskelstromes als eines abgeleiteten Stromes aus gestaltet sich die Sache ganz anders. Demnach giebt uns der Strom, wie wir ihn in den Windungen wahrnehmen, eigentlich nur ein Wahrzeichen ab von dem Dasein eines ursprünglichen, im Innern des Muskels vorhandenen Strömungsvorganges, von dessen Stärke in der unmittelbaren Nähe der ihn entwickelnden Elemente wir nichts wissen, als dafs sie viel bedeutender sein mufs, ja fast unendlich gröfser sein kann, als die jenes in die äufsere Erscheinung fallenden.

Theoretisch bereits ist diese Folgerung gar nicht zu bezweifeln, wenn man erwägt, dafs die Stromstärken in verschiedenen Nebenzweigen sich umgekehrt wie ihre Widerstände verhalten; allein auch den erfahrungsmäfsigen Beweis dafür haben wir schon seit geraumer Zeit in Händen. Er liegt in der ungemeinen Schwäche der Wirkungen, welche unsere schematischen, die Muskeln als zusammengesetzte Erreger nachahmenden Vorrichtungen selbst unter den günstigsten Umständen von sich geben. Selten überstiegen diese Wirkungen die ersten 20° der Theilung, und doch ist an dem Bündel von Stäben Fig. 71 Taf. VI. 37mal, an dem Schema nach der Molecularhypothese 144mal die elektromotorische Kraft zwischen Kupfer und Zink, ja amalgamirtem Zink im Spiel! Man sieht daher, dafs, wenn auch selbst der über 90° Ausschlag gebende Strom eines Froschmuskels verschwindet gegen den einer einfachen Zinkkupferkette, welchen man unmittelbar in den Kreis einführte, uns nichtsdestoweniger der Schlufs verstattet bleibt, dafs die Stromstärke im Inneren des Muskels eine der jener Kette gleichkommende, möglicherweise sie übertreffende ist, und dafs daher durch dieselbe, in ihrer nächsten Nähe, ganz beträchtliche Wirkungen aller Art ausgeübt werden können.

Im Vorhergehenden ist überall, wie dies auch sonst aus früher angeführten Gründen der Fall sein wird, die Vorstellung der allseitig oder mehrseitig von unwirksamem Leiter umgebenen, peripolar elektromotorischen Molekeln zu Grunde gelegt worden. Indessen gelten alle diese Schlüsse eben so gut, wenn man, statt von dieser, von der andern Klasse von Anordnungen ausgeht, bei welcher im Innern des Muskelbündels kein unwirksamer Leiter mehr vertheilt sein soll, sondern die kleinsten Theile gleichsam wie mit trockenem Zink in der queren, mit trockenem Kupfer in der Längsrichtung aneinanderstofsen. Nur dafs dann an die Stelle der elektromotorischen Molekel in dieser Art von

Betrachtungen überall das einfache Bündel gesetzt werden muſs. In dieser Weise finden sich, die letzte ausgenommen, betreffend die mögliche Stärke des im Muskel selber kreisenden Armes des Muskelstromes, sämmtliche hier entwickelte Folgerungen bereits in meinem „*vorläufigen Abrisse*" erwähnt.[1] Diese Vorstellungsweise von dem Wesen der thierischen Erreger war es, wodurch ich bewogen wurde, daselbst eine andere Bezeichnungsart der Richtung der thierisch-elektrischen Ströme in Vorschlag und Anwendung zu bringen, als die von Nobili herrührende. Diese weist die scheinbare Richtung derselben in der Masse der thierischen Erreger selbst nach; sie sagt also z. B., am Gesammtfrosche, dem Galvani'schen Präparate verlaufe der Strom von den Füſsen nach dem Kopfe in dem Frosche u. d. m. Es ist jedoch deutlich, daſs sie eben dadurch eine irrige Ansicht über den Verlauf der Ströme im Innern der Muskeln mit in den Kauf giebt. Denn wenn man z. B. sagt, der Muskelstrom verläuft im Muskel vom Querschnitte zum Längsschnitte, so würde dies nur richtig sein in dem Falle, daſs der Muskel ein gewöhnlicher Erreger gleich einer Kette oder einer Säule wäre; den Thatbestand aber giebt dieser Ausdruck in keiner Weise wieder, da der Muskelstrom im Multiplicatorkreise vielmehr ein Arm ist eines Stromes, der am Muskel vom Längsschnitte zum Querschnitte, also gerade umgekehrt kreist, und abgesehen davon die ganze unermeſsliche Verwicklung in einander greifender Strömungsvorgänge, die, dem Vorigen nach, vermuthlich den Muskel auf allen seinen Punkten erfüllt, mit Stillschweigen übergangen wird. Ich habe deshalb in jener Abhandlung die Uebereinkunft mit dem Leser getroffen,[2] die Richtung der Ströme

[1] A. a. O. S. 8. §. 23: »Es ist bereits ... angedeutet worden, daſs es sich »am Gesammtfrosch nicht nur um ein blos Spannung setzendes elektromotorisches »Moment handle, wie dies aus sämmtlichen früheren Untersuchungen am Frosche »bisher einzig hervorging, sondern ... um einen continuirlich kreisenden Strom. »Wir erfahren aus ... [§.] ..., daſs dasselbe sogar am bloſsen Muskelfleischcylinder, »vollends an dem mit den Sehnen und seinen sämmtlichen Bindegewebscheiden noch »versehenen unversehrten Muskel der Fall sei. Folglich ist jeder Strom, den man »mit Hülfe eines dieser thierischen Elektromotore an der in den indifferenten lei»tenden Bogen eingeschalteten stromprüfenden Vorrichtung darzustellen vermag, »durch Nebenschlieſsung gewonnen.« S. 11. §. 29: »Aus Vorstehendem ist ferner »deutlich, daſs die ganze übrige Masse des Frosches für jeden einzelnen Muskel, »den man in der Vorstellung fixirt, Schlieſsung, folglich in Rücksicht auf den in»differenten leitenden Bogen, Nebenschlieſsung bildet.« S. 18. §. 46: »In der That »bildet ... die ganze übrige Masse eines Muskels für jedes einzelne Primitiv-Muskel»bündel, welches in der Vorstellung fixirt wird, Schlieſsung ...« Ebendas. §. 47: »Für jedes einzelne Primitiv-Muskelbündel bildet die ganze übrige Masse des Fro»sches Schlieſsung.«

[2] A. a. O. S. 12. §. 31.

im Multiplicatorkreise, wie sie unmittelbar in die Beobachtung fällt, statt der scheinbaren, nach dem Bilde der Kette oder der Säule in der Masse des Muskels selbst daraus erschlossenen anzugeben. Wenn ich, in dem vorliegenden Werke, wenigstens für die bereits vor mir bekannten thierischen Erreger, von dieser Bezeichnungsart wiederum abgewichen bin, so ist dies nicht etwa deshalb geschehen, weil ich an der Richtigkeit des damals ausgesprochenen Grundsatzes irre geworden bin, sondern weil ich bemerkt zu haben glaube, dafs mein Verfahren, gegenüber der hergebrachten Methode, zu dem Mifsverständnifs Anlafs gab, als hätte ich die Richtung der Ströme anders gefunden, als meine Vorgänger. Vergl. oben S. 538.

## 2. Von der elektroskopischen Wirksamkeit der thierischen Erreger.

Von dem Umstande, dafs alle thierisch-elektrischen Ströme, wie wir sie am Multiplicator wahrnehmen, durch Nebenschliefsung gewonnen sind, sagte ich in meinem *„vorläufigen Abrisse"* S. 8. §. 24: »Bei »dem an und für sich geringen Moment der hier in's Spiel kommen»den Ströme ist dies beiläufig der Grund, weshalb hier nie, wie bei »elektromotorischen Fischen, elektroskopische Wirkungen wahrgenommen »werden können.« In der That haben die Ströme der elektromotorischen Fische, wie später gezeigt werden wird, mit den Strömen der übrigen thierischen Erreger jene Eigenthümlichkeit gemein, stets durch Nebenschliefsung gewonnen zu sein. Allein die Summe der Spannungen, die sich in denselben entladen, ist so bedeutend, dafs, trotz der vorhandenen Nebenschliefsung, wie bekannt, Funken, und nach Santi Linari's, Matteucci's und Schoenbein's Beobachtungen, auch Anziehungs- und Abstofsungserscheinungen zu Stande kommen.[1] Von den verhältnifsmäfsig unendlich schwachen Strömen der Muskeln aber liefs sich dies nicht erwarten, obschon hier die Schwierigkeit fortfällt, welche bei den elektromotorischen Fischen noch durch die äufserst kurze Dauer der Entladung bedingt war und daher besondere Versuchsweisen nothwendig machte.

Was etwa vorhandene ältere Angaben über diesen Punkt aus den ersten Zeiten des Galvanismus betrifft, so ist zu bemerken, dafs der bei weitem gröfste Theil der bejahenden wie der verneinenden Aussagen, die man wohl in diesem Sinne angeführt zu finden pflegt, sich auf den Fall bezieht, wo die thierischen Glieder mit ungleichartigen Metallen

[1] S. unten, Kap. X. §. III.

bewaffnet waren, also eigentlich auf die elektroskopische Wirksamkeit einer offenen oder geschlossenen einfachen galvanischen Kette. Hierher gehören die unten aufgezählten Stellen. [1] Von Erfahrungen an zugerichteten thierischen Gliedern bleibt meines Wissens alsdann im Grunde nur noch ein völlig unverständlich erzählter Versuch von Izarn [2] zurück, dessen bejahendem Erfolge durchaus kein Werth beizulegen ist.

Ich selbst hatte mich in der ersten Zeit meiner Untersuchungen vielfach vergeblich bemüht, mit Hülfe eines Behrens'schen Elektroskopes nach Fechner's Einrichtung von der Arbeit des Herrn Kleiner, dessen Benutzung ich der Güte des Herrn Professor Dove verdankte, elektroskopische Wirkungen von Fröschen zu erhalten, die nach Galvani's Vorschrift zubereitet waren, und ich hatte geglaubt, darauf den oben angeführten Ausspruch gründen zu dürfen. Indessen will Matteucci seitdem in dieser Untersuchung, die er in gewisser Rücksicht übrigens zweckmäfsiger begonnen hat, glücklicher gewesen sein. In seiner Abhandlung über den Muskelstrom in den *Philosophical Transactions etc.* Ibid. p. 285.* sagt er: »With a pile of twenty elements of half thighs »of frogs, I have ... distinctly obtained signs of tension, by means »of a tolerably delicate condenser. To this intent I put one extremity »of the pile in communication with the ground, and the other with »the plate of the condenser. I have frequently repeated the experi»ment, at one time establishing a communication between the internal »surface of the muscle and the condenser, and the external surface »with the ground; at another time I have reversed this order. I have »likewise observed the phenomena which ensue on putting each of the »extremities of the muscular pile in communication with one of the »plates of the condenser. In every case the electroscope has constantly »exhibited signs of a negative charge upon the internal surface of the »muscle, and of a positive charge upon the external surface.« [3]

[1] Valli in Reinhold's Geschichte des Galvanismus u. s. w. S. 27, (16). S. 33. 34.* — Creve und Lichtenberg in Gren's Journal der Physik. 1793. Bd. VII. S. 330.* — Fowler in Al. Monro's und Rich. Fowler's Abhandlung u. s. w. S. 84.* — Kühn, Etwas über die Kuren des Herrn Grafen von Thun u. s. w. Leipzig 1794. S. 19. — Pfaff und Schrader in des Ersteren Schrift über thierische Elektricität u. s. w. S. 372.* — Ackermann, Versuch einer physischen Darstellung der Lebenskräfte organisirter Körper u. s. w. Frankfurt a. M. 1797. Bd. I. S. 347, (5).* — v. Humboldt, Versuche u. s. w. Bd. I. S. 19. 20.* — Eandi und Vassalli, Gilbert's Annalen der Physik. 1803. Bd. XIII. S. 449.*

[2] Voigt's Magazin für den neuesten Zustand der Naturkunde. Bd. XI. 1806. S. 356.*

[3] Vergl. Annales de Chimie et de Physique. Septembre 1846. 3. Série. t. XVIII. p. 110.*

Da ich, bei jenen früheren Versuchen, mich, wie bemerkt, nur einzelner Galvani'scher Präparate bedient hatte, und Matteucci sich bei seinem Verfahren sonach allerdings beträchtlich im Vortheil befand, so hielt ich es für nothwendig, seine Beobachtung wo möglich durchaus in gleicher Weise zu erneuern. Ich hatte mich dabei der Hülfe meines Freundes Dr. Gustav Karsten, dessen Geschicklichkeit in allen Arten reibungselektrischer Beobachtungen wohlbekannt ist, zu erfreuen. Auf einer mit Schellack überzogenen Glasplatte ordnete ich eine dreifsiggliederige Säule von halbdurchschnittenen Froschoberschenkeln nach Matteucci's Vorgang an. Aus Gründen, welche später einleuchten werden,[1] schlofs ich dieselbe, vor der Prüfung durch das Elektroskop, erst mehreremal mit wohlbefeuchteten Fingern zum Kreise. Dann legte ich an den künstlichen Querschnitt des ersten und an den natürlichen Längsschnitt des letzten Gliedes mit Schneewasser getränkte Fliefspapierbäusche an. Der eine derselben wurde nach der Erde hin abgeleitet, und der andere über den Rand der Glasplatte fort mit einem ähnlichen Bausch in Berührung gebracht, der auf dem Deckel eines Behrens'schen Elektroskopes nach Fechner's Einrichtung ein für allemal aufgelegt war. Diese doch nothwendige Vorsichtsmafsregel, deren Matteucci keine Erwähnung thut, hatte zum Zweck, den Täuschungen vorzubeugen, welche die elektroskopische Wirkung bei der Berührung des metallischen Deckels mit dem feuchten Leiter herbeiführen konnte. Nachdem die untere Condensatorplatte ableitend berührt worden war, wurde mit einem Glasstabe die feuchte Brücke zwischen der thierischen Säule und dem auf dem Deckel ruhenden Bausch entfernt, und endlich der Deckel abgehoben. Obschon das Elektroskop den Volta'schen Grundversuch zwischen Zink und Messing sehr schön zeigte, konnten doch auf diese Weise keine deutlichen Anzeichen von Elektricität gewonnen werden, und ebensowenig glückte dies, als beide Enden der Säule beziehlich mit beiden Condensatorplatten in Verbindung gebracht wurden.

Ich mufs indefs bevorworten, dafs ich den Versuch nur einmal, und überdies in einer ungünstigen Jahreszeit, an wenig kräftigen Thieren, angestellt habe. Man sieht übrigens leicht, dafs das Interesse der ganzen Frage, ob man den Muskeln elektroskopische Wirkungen abgewinnen könne oder nicht, ein sehr beschränktes ist, da es, wie für die physiologische Prüfung der Muskelströme und die Jodkaliumelektrolyse (S. oben S. 444. 473) einzig auf die Möglichkeit hinausläuft, diese Wirkungen mit Hülfe unserer Vorrichtungen in dem jetzigen Zustande ihrer Vollkommenheit wahrzunehmen, ohne dafs dadurch etwas

[1] S. unten, Kap. VIII. §. 11.

Neues über das Wesen oder die Gesetze der thierisch-elektrischen Ströme beigebracht zu werden vermöchte.

### 3. Von dem Einflusse der Länge des Muskels auf die Stärke des Stromes.

Wir haben, ehe wir die Betrachtung des Muskels als zusammengesetzten Erregers verlassen, noch mehreren Forderungen der physikalischen Methode Genüge zu leisten. Sie gebietet, die zu untersuchende Erscheinung nach einander als Function aller Umstände zu betrachten, welche darauf von Einfluſs sein können, indeſs die übrigen währenddem so beherrscht werden, daſs ihre Wirkungen möglichst als Constanten in das Ergebniſs eingehen. Dies ist bis jetzt erst für die Lage der Fuſspunkte des ableitenden Bogens der Fall gewesen. Es würde übrig bleiben, bei beständiger Lage des Bogens die Maſsverhältnisse desselben sowohl als des Muskels nacheinander zu verändern.

Was das erstere betrifft, so würden zweierlei Punkte zu berücksichtigen sein. Wir können einmal den Widerstand des Bogens vergröſsern — er ist bereits, wie man sich erinnert, so klein wie möglich gewählt worden — und zweitens steht es uns frei, die Ausdehnung seiner den Muskel berührenden Fuſspunkte, entweder beider oder auch nur eines einzigen, innerhalb gewisser, durch die Maſsverhältnisse des Muskels bestimmten Grenzen, schwanken zu lassen.

An beiden Versuchen werden wir indeſs ohne weiteren Aufenthalt vorübergehen. Den Widerstand des Bogens anlangend ist deutlich, daſs wir bei Vergröſserung desselben eben nichts Anderes zu sehen bekommen würden, als eine Schwächung des abgeleiteten Stromes nach irgend einem höchst verwickelten und auf keine Weise bestimmbaren Gesetze (Vergl. oben S. 593. 598). Von den Fuſspunkten des Bogens würde sich an Froschmuskeln, die sich allein zu dergleichen Versuchen eignen, nur der am Längsschnitte füglich einer Veränderung seiner Ausdehnung unterwerfen lassen. Dabei müſste, was nicht ausführbar ist, der Widerstand des Bogens beständig erhalten werden, damit das Ergebniſs von irgend einer Bedeutung sein könnte. Abgesehen davon aber würde die ganze Erfahrung so zusammengesetzt und so schwer mit dem Verständnisse zu durchdringen sein, daſs deshalb auch ihr Interesse sehr geschmälert erscheint und ich meine Sorgfalt lieber anderen Punkten zugewendet habe.

Von gröſserer Wichtigkeit ist unstreitig die Erforschung des Einflusses, den die Maſse des Muskels auf die Stärke des abgeleiteten Stromes äuſsern. Für die thatsächliche Ermittelung desselben, welche

nicht ohne bedeutende Schwierigkeiten ist, stellen wir zunächst folgende Grundsätze auf.

Der Widerstand des Bogens und die Ausdehnung seiner Fufspunkte sollen beständig bleiben. Ferner soll die relative Spannweite des Bogens, welche auch die Gröfse des Muskels sei, stets eine und dieselbe sein. Denkt man sich z. B. den Muskel nach allen drei Richtungen in gleichem Mafse wachsend, so heifst also die letztere Forderung soviel, als dafs die absolute Spannweite des Bogens stets in demselben Verhältnisse zunehmend gewählt werden soll. Dadurch wird aber noch eine Mafsregel unumgänglich nöthig gemacht. Wir wissen nämlich nicht, wie mit der Gröfse des Muskels das Gesetz sich innerhalb seiner allgemeinen Form, blos rücksichtlich gewisser Parameter, ändern mag, welches die Abhängigkeit der Stromstärke von der relativen Spannweite ausdrückt. Wüchsen alle Ordinaten der dieses Gesetz darstellenden Curve, welche die Curve der Spannweiten heifsen soll, mit den Mafsen des Muskels proportional, so könnten wir die absolute Spannweite des Bogens an dem Muskel von der Gröfse Eins ganz beliebig wählen. Nennten wir dann diese Spannweite gleichfalls Eins und liefsen sie mit dem Muskel in gleichem Mafse wachsen, so wäre die Bedingung der Beständigkeit der relativen Spannweite immer erfüllt. Da jedoch möglicherweise jenes Gesetz sich auf eine verwickeltere Art mit den Mafsen des Muskels ändert, so zeigt es sich wünschenswerth, dafs die Einheit der Spannweite so gewählt werde, dafs dieser Umstand auf das Ergebnifs von keinem Einflusse sei. Dies werden wir dann verwirklichen können, wenn wir, auf der Curve der Spannweiten, einen ausgezeichneten Punkt entdecken, von dem es unzweifelhaft ist, dafs seine relative Lage bei jeder Gröfse des Muskels unverändert bleibt.

Hier ist es nun, wo uns unsere Untersuchung über den Einflufs der Spannweite auf die Stromstärke, wie sie oben S. 631 geführt wurde, von Wichtigkeit wird. Im Allgemeinen die Curve der Spannweiten zu verzeichnen, hatte das gegen sich, dafs sie für jede Lage des Bogens eine neue und verschiedene ist, und ist deshalb auch a. a. O. unterblieben. Zu der bevorstehenden Ermittelung werden wir uns jedoch natürlich des Stromes zwischen einem Punkte des Längsschnittes und einem Gesammtquerschnitte bedienen müssen; für diesen ist die Curve der Spannweiten etwa folgende.

Trägt man, auf jeden Punkt der Ausdehnung des Längsschnittes als Abscisse, die Stromstärke als Ordinate auf, welche in dem Bogen herrscht, wenn sein Fufspunkt bei diesem Punkte angelangt ist, so steigt die Curve von der Grenze zwischen dem Längsschnitte und dem berührten Gesammtquerschnitte, von wo sie mit einem gewissen Werthe

ihrer Ordinate ausgeht, bis zur Mitte der Ausdehnung des Längsschnittes etwas an, wo sie einen ausgezeichneten Punkt, einen oberen Grenzwerth nämlich, besitzt. Von hier ab sinkt sie nach der Grenze zwischen dem Längsschnitte und dem zweiten, freien Endquerschnitte zu, dem sie entgegengeht, wieder stetig, und, soviel ich finden kann, nahezu symmetrisch; in manchen Fällen dem Anscheine nach etwas weniger steil, so dafs der endliche Werth der Ordinate den Anfangswerth um einen geringen Bruchtheil übertrifft.

Jener ausgezeichnete Punkt aber erfüllt sichtlich die gestellte Forderung; er mufs, wie man sich auch die Gröfse des Muskels denken möge, nahezu auf der Mitte des Längsschnittes desselben gelegen sein. So ergiebt sich die wichtige Vorschrift, wenn es gilt, bei verschiedenen Mafsen des Muskels, gleiche relative Spannweite herzustellen, dieselbe so zu wählen, dafs der Strom zwischen Längs- und Querschnitt, oder der Strom des Muskels überhaupt bei gegebener Beschaffenheit des Bogens, seinen obern Grenzwerth habe, d. h., wenn der eine Fufspunkt den Querschnitt in seiner ganzen Ausdehnung berührt, den andern an die Mitte der Länge des Muskels anzulegen.

Den Muskel im Versuch gleichzeitig nach allen drei Richtungen in gleichem Mafse wachsen zu lassen, geht begreiflich nicht wohl an. Nur die Länge desselben können wir willkürlich bestimmen; den Querschnitt müssen wir der Gröfse und Gestalt nach nehmen, wie wir ihn in den verschieden dicken Oberschenkelmuskeln des Frosches vorfinden. Man müfste also, um der obigen Forderung einigermafsen Genüge zu leisten, die Länge des Muskels mit der Quadratwurzel der Ausdehnung des Querschnittes, oder, was dasselbe bedeutet, des Gewichtes des Muskels von der Länge Eins, wachsen lassen. Dies Verfahren ist viel zu verwickelt, als dafs wir nicht besser thun sollten, einzeln die Länge des Muskels bei beständigem Querschnitte und sodann einzeln den Querschnitt bei beständiger Länge schwanken zu lassen, was beides mit ziemlicher Genauigkeit ins Werk gesetzt werden kann.

Wir beginnen mit dem ersteren. Muskeln von verschiedener Länge, gleichem Querschnitt und möglichst gleicher elektromotorischer Wirksamkeit besitzt man in den gleichnamigen Muskeln der beiden Seiten eines und desselben Frosches, und zwar fällt hier die Wahl wiederum auf die regelmäfsig gefaserten vier Oberschenkelmuskeln, welche oben S. 497 unter 2. 3. 4. 6. aufgeführt sind, und seitdem schon mehrmals bei ähnlichen Gelegenheiten gebraucht wurden. Jedenfalls wird eine solche Vergleichung zweier ungleich langen Stücke von verschiedenen Muskeln dem Verfahren vorzuziehen sein, wo man den nämlichen Muskel erst in seiner ganzen Länge anwendet, und dann ein nach

Belieben kürzeres Bruchstück desselben prüft. Auf die letztere Art gebietet man sichtlich über kleinere Unterschiede der Länge; vornehmlich aber hat man dabei keine Sicherheit, dafs ein etwaiges Unterliegen des Stromes des kürzeren Stückes von seinen Mafsen, nicht von dem Angriffe herrührt, den die Leistungsfähigkeit des Muskels durch das längere Handhaben auf den Bäuschen bereits erlitten haben kann. Es gilt sogar, um in dieser Hinsicht die vollständigste Uebereinstimmung aller Bedingungen aufrecht zu erhalten, die Regel, nicht beide Muskeln gleichzeitig zuzurichten und nun erst den einen, dann den andern der Prüfung zu unterwerfen; sondern die Zurichtung des zweiten mufs erst geschehen, nachdem die Prüfung des ersten beendet ist, so dafs er nach einem gleichen Zeitraume, von dem Augenblick an gerechnet, wo sein Nerv durchschnitten und er aus seiner natürlichen Lage entfernt worden ist, auf die Bäusche zu liegen kommt. Auch mufs die gröfste Vorsicht in Betreff des Umstandes beobachtet werden, dafs nicht etwa der eine mehr als der andere den mannigfachen verderblichen Einflüssen ausgesetzt werde, welche, auf dem Wege von der Tödtung des Frosches an bis zum Auflegen auf die Bäusche, die Muskeln treffen können, dafs er z. B. nicht zu Zuckungen veranlafst werde, während der andere in Ruhe bleibt, u. d. m.

Theils, um die Muskeln mit Bequemlichkeit auf den mit Eiweifshäutchen und Glimmerblättchen wie gewöhnlich versehenen Bäuschen einrichten zu können, so dafs die Spannweite des Bogens die Hälfte der Muskellänge beträgt, theils um allerlei beim Auflegen sich einfindende Zufälligkeiten aus dem Erfolge des Versuches zu verbannen, ist es zweckmäfsig, dabei die Kette nicht durch das Auflegen selber zu schliefsen, sondern dies an einer beliebigen anderen Stelle des Kreises in Quecksilber zu bewerkstelligen.

Endlich ist Folgendes zu bedenken. Da es sich um Vergleichung von Strömen zwischen Längs- und Querschnitt handelt, welche die Nadel an die Hemmung zu werfen pflegen, so würde es, wenn man nicht irgend eine Vorkehrung zur Schwächung dieser Wirkung träfe, gar nicht gelingen, mäfsige Unterschiede in der Stärke derselben mit Sicherheit zu beurtheilen. Diesem Uebelstande kommt man am bequemsten zuvor, indem man sich, statt wie gewöhnlich der ganzen, nur der halben Multiplicatorlänge bedient (S. oben S. 202). Alsdann treiben die stärksten Muskelströme die Nadel nur noch selten bis auf 90°, und solche, welche bei ganzer Multiplicatorlänge dieses Ziel noch eben erreichten, bringen jetzt nur noch etwa 50 — 60° Ausschlag hervor.

Trotz diesen Vorsichtsmafsregeln gelingt es bei dieser Anordnung nicht wohl, über den Einflufs des fraglichen Umstandes ganz befriedi-

genden Aufschluſs zu erhalten. Bald überwiegt der Strom des längeren, bald der des kürzeren Muskelbruchstückes, bald erscheinen beide von gleicher Stärke. Allerdings spricht die groſse Mehrzahl meiner Versuche für ein Ueberwiegen des Stromes des längeren Muskels.

Die Unsicherheit, die sich somit in dem Erfolge des Auflegens einzelner Muskeln von verschiedener Länge auf die Bäusche kundgiebt, scheint geringer zu werden, wenn man sie einander in dem Multiplicatorkreise, dem Verfahren der Compensation gemäſs, mit Hülfe eines Zwischenbausches entgegenwirken läſst. Vergl. oben S. 633 die ähnlichen Versuche über den Einfluſs der Spannweite des Bogens auf die Stromstärke. Dabei ist es nicht mehr nothwendig, sich der halben Multiplicatorlänge zu bedienen; aber man thut fortdauernd wohl, den Kreis in Quecksilber, statt durch Auflegen des zweiten Muskels zu schlieſsen, damit man nämlich die Einrichtung auch dieses auf den Bäuschen noch gemächlich vornehmen könne. Die beiden Querschnitte, die man gegen einander auflegt, müssen ganz gleichzeitig und in völlig gleicher Weise hergerichtet sein; dies geschieht am besten, indem man die Muskeln auf einer passenden Unterlage, einem Stücke Pappe oder Leder, neben- oder aufeinander legt, die Klinge eines starken gewölbten Scalpells, etwa eines Knorpelmessers, auf sie aufsetzt, und sie mit einem raschen und kräftigen Druck beide auf einmal querdurchschneidet. Bei dieser Art des Versuches nun findet man sehr regelmäſsig, daſs der Strom des längeren Muskels die Oberhand hat.

Ohne uns jetzt bereits mit der theoretischen Erörterung dieser Thatsachen zu befassen, gehen wir sogleich zur Untersuchung der Abhängigkeit der Stärke des Stromes von den beiden anderen Ausmessungen am Muskel über.

## 4. Von dem Einflusse der Gröfse des Querschnittes des Muskels auf die Stärke des Stromes.

Wir haben hier zunächst einiger Erfahrungen und Betrachtungen Matteucci's Erwähnung zu thun, welcher übrigens auch diesen Punkt, wie fast jeden anderen dieses ganzen Gebietes, nur berührt hat, um seine Grundlage zu verfälschen.

### (1) Matteucci's Versuche über den Einfluſs der Gröfse der Muskelmasse auf den davon zu erhaltenden Strom.

Matteucci lieſs bereits im Jahre 1842, in der ersten Arbeit, die er seit dem »*Essai*« über thierische Elektricität veröffentlichte, eine Säule von Sperlingsfüſsen einer solchen von Kaninchenbeinen entgegen-

wirken, und fand, dafs die erstere die letztere beinahe vollkommen compensirte. Er schlofs daraus folgendes: »Ce courant,« — nämlich sein vermeintlicher Muskelstrom — »dont la direction est en sens con»traire de celui de la grenouille, n'augmente pas avec l'augmentation »des masses musculaires desquelles il est dégagé.« [1] Dieser Versuch ist offenbar werthlos, da er erstens mit Muskeln warmblütiger Thiere angestellt ist, deren Wirkungen viel zu vergänglich sind, um sie zu einem Vergleich der Art benutzen zu können, zweitens mit Muskeln verschiedener Thiergattungen, drittens mit ganz unregelmäfsig und viertens gar mit verschieden gestalteten Muskelmassen.

Dieselbe Abhandlung enthält noch, ohne dafs eine Verbindung zwischen diesen Erfahrungen sich angedeutet fände, folgende Beobachtungen.

1°. Ohne Anwendung der Methode der Compensation.

Matteucci häufte 10 — 12 Frösche auf einander; dabei waren die Präparate bald durch Wachstaffent von einander isolirt, bald in ungehinderter leitender Berührung unter einander. Der Strom verstärkte sich nicht merklich, sondern etwa vorhandene Verschiedenheiten mufsten Unterschieden in der Leistungsfähigkeit der einzelnen Thiere zur Last gelegt werden. An einem einzelnen Frosche machte es ebenso keinen Unterschied, ob er ihn mit einem oder mit beiden Beinen die Kette schliefsen liefs. Ordnete er aber sechs Frösche säulenartig an, so gab die Säule beziehlich 14° und 16° Ausschlag, je nachdem das eine Bein eines jeden Frosches von dem Stück Wirbelsäule des nächstfolgenden abgehoben wurde, oder damit in Berührung blieb; je nachdem also die Anordnung eine Säule aus halben oder eine aus ganzen Galvani'schen Präparaten vorstellte.

2°. Mit Anwendung der Methode der Compensation.

Er nahm eine Säule aus ganzen und eine solche aus halben der Länge nach getheilten Galvani'schen Präparaten, beide von 4 — 6 Gliedern. An der letzteren erstreckte sich die Theilung manchmal auf das Stück Wirbelsäule, manchmal auch nicht; so liefs er auch bald den ganzen, bald den halben Fröschen das Becken (»le bassin«), worunter vermuthlich die Hinterwand desselben bis zur Wirbelsäule verstanden ist. Was diese Abwechselungen sollten, wird nicht berichtet und ist nicht abzusehen. Diese Säulen liefs er einander, auf isolirenden Unterlagen ausgebreitet, entgegenwirken. Einzeln am Multiplicator untersucht, gab jede derselben 15 — 20°, ja sogar 25° Ausschlag; compensirten

[1] L'Institut. t. X. 1842. No. 426. p. 66.° — Archives de l'Électricité. 1842. t. II. p. 448.° — Annales de Chimie et de Physique. 3. Série. Novembre 1842. t. VI. p. 333.°

sie einander, so war ihre Wirkung so gut wie Null, da die Spuren eines Differentialstromes, die sich manchmal zeigten, bald in dem einen, bald in dem anderen Sinne erfolgten; auch die Untersuchung mit dem stromprüfenden Schenkel ergab kaum merkliche Zuckungen, und einmal fehlten dieselben ganz. Die Hinzufügung nur eines Frosches zu einer von beiden Säulen aber brachte alsbald eine Wirkung hervor, als ob derselbe allein im Kreise befindlich gewesen wäre. Dieser Versuch, der in seiner Verwickelung doch eben nicht sonderlich lehrreich ist, ward wenigstens zwanzigmal wiederholt. Matteucci setzte auch zwei Säulen aus sechs Fröschen jede einander auf die gewöhnliche Weise entgegen, und hob bald, wie oben, das eine Bein sämmtlicher Präparate der einen Säule von dem Stück Wirbelsäule des nächstfolgenden Präparates ab, bald legte er es wieder auf. Dieser Umstand brachte keinen merklichen Unterschied in der Wirkungsgröfse der Anordnung hervor.[1]

Auch mit diesen Versuchen ist, wie bemerkt, der Verwickelung der Bedingungen halber nicht viel anzufangen. Sie sind zwar von mehreren von den Fehlern frei, die wir den erstangeführten vorzuwerfen fanden; allein noch immer ist die Gestalt der angewandten thierischen Erreger zu unregelmäfsig, die Ableitungsweise nicht bestimmt genug, durch die Anwendung von Säulen ausserdem mancher Fehlerquelle Zutritt verstattet. Folgende Erfahrungen Matteucci's würden noch am ehesten brauchbar zu nennen sein, obschon sie mit Muskeln warmblütiger Thiere gewonnen sind, die Regelmäfsigkeit der Gestalt der Erreger durch nichts verbürgt ist, von Berücksichtigung der Spannweite natürlich die Rede gar nicht sein kann. Er liefs zwei Säulen einander entgegenwirken, deren eine aus querdurchschnittenen Froschoberschenkeln, die andere aus zwei bis drei dergleichen in jedem Gliede zusammengesetzt war; in einem anderen Falle bestand die eine Säule aus gröfseren, die andere aus kleineren Stücken Kaninchenmuskeln. (»Les éléments »d'une de ces piles étaient formés avec de larges tranches musculaires, »et les éléments de l'autre se composaient de petits morceaux de ces »mêmes muscles.«) Matteucci sagt nun: »Je n'ai jamais obtenu des »signes bien distincts d'un courant différentiel. J'avouerai pourtant que »ces signes, quoique très-faibles, ont été toujours dans le sens de la »pile dont les éléments étaient d'une masse double ou triple de celle »des éléments de l'autre pile .... On doit être surpris d'un tel ré»sultat, qui est tout-à-fait différent de celui obtenu avec les piles for»mées de plaques métalliques.«[2]

[1] Archives de l'Électricité etc. t. II. p. 428.* — Annales de Chimie et de Physique. 3. Série. t. VI. p. 311.* — Traité etc. p. 94.*

[2] Traité etc. p. 72. 73.*

Matteucci sind nämlich alle diese Ergebnisse im höchsten Grade räthselhaft erschienen, obschon sie, von seinem Standpunkte aus, da er die thierischen Erreger sich einfach unter dem Bilde von Ketten oder Säulen vorstellt, gar keine Schwierigkeit darboten, sondern völlig mit dem bekannten Fall der zusammengesetzten Kette übereinkamen. So hat Poggendorff die Anordnung genannt, wo eine Lücke in einem Kreise mit mehreren Schliefsungen überbrückt wird, welche sämmtlich eine Erregungsstelle enthalten. Die Theorie dieser Anordnung ist von Poggendorff am erschöpfendsten bearbeitet worden, und ich mufs hier, in Bezug auf die nähere Begründung derselben, auf seine Abhandlung verweisen.[1] Das bisher[2] gangbare Princip der Behandlung aller Aufgaben aus diesem Gebiete war das bereits oben S. 647 erwähnte der Deckung der Ströme. Demzufolge hat man die wirksamen, d. h. die ein Erregerpaar enthaltenden Zweige gerade wie eben so viele unwirksame Nebenschliefsungen zu betrachten und die Stärken der auf diese Weise von den einzelnen Erregern herrührenden Stromarme an jeder beliebigen Stelle der Kette algebraïsch zu summiren. Ist alsdann jeder Zweig der Lücke in dem Kreise von dem Widerstande $W$ mit der elektromotorischen Kraft $k$ thätig, und sein Widerstand $w$, so schickt er durch den Kreis einen Partialstrom von der Stärke

$$I = \frac{k}{nW + w},$$

wo $n$ die Zahl der Zweige bedeutet, und die Gesammtstromstärke im Multiplicatorkreise ist das $n$fache davon, nämlich

$$nI = \frac{k}{W + \frac{w}{n}}.$$

Je nachdem daher der Widerstand der Lücke einen gröfseren oder kleineren Theil des Gesammtwiderstandes des Kreises ausmacht, wird durch die Hinzufügung neuer Nebenzweige, d. h. durch Verkleinerung von $w : n$ eine gröfsere oder geringere Verstärkung bewirkt werden. (S. oben S. 469.) In Matteucci's Kreise war der Widerstand eines Frosches nur ein kleiner Theil des Gesammtwiderstandes, was daraus hervorgeht, dafs die Hinzufügung eines solchen eine fast eben so starke Wirkung hervorbrachte, als ob er allein im Kreise befindlich gewesen wäre. Wären also die Muskeln als einfache Erreger zu betrachten, so war es ganz in der Ordnung, dafs beim Ueberbrücken der Lücke mit mehreren Fröschen nur eine äufserst geringe Verstärkung sichtbar wurde.

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1841. Bd. LIV. S. 173.

[2] Vergl. Poggendorff ebendas. 1846. Bd. LXVII. S. 528.

Den Strom zwischen natürlichem Längsschnitt und natürlichem Querschnitt nach Matteucci's theilweisem Vorgange hier zu benutzen, ist ebensowenig statthaft, weil die durchweg unregelmäfsige Gestalt des letzteren durch die gleichzeitig bedingten Unregelmäfsigkeiten der Ableitung schon allein Unterschiede der Stromstärke herbeiführen würden, welche die wahrzunehmenden leicht verdecken könnten. Man ist vielmehr wiederum auf den künstlichen Querschnitt angewiesen und wie bei den feineren Versuchen über das Gesetz des Muskelstromes, den Einfluſs der Spannweite des Bogens, der Länge des Muskels u. s. w. fällt man auf die vier regelmäfsig gefaserten Oberschenkelmuskeln des Frosches, No. 2. 3. 4. 6. S. 497. zurück. Aus diesen schneidet man prismatische Stücke mit senkrechten Grundflächen und von gleicher Länge, und legt sie mit künstlichem Querschnitt und natürlichem Längsschnitt auf die mit Eiweifshäutchen und Glimmerblättchen versehenen Bäusche dergestalt auf, dafs der Bausch am Längsschnitt an die Mitte desselben angelegt ist, dafs also an allen Muskeln der Strom seine gröfste Stärke besitzt. Leider müssen wir uns auch hier damit begnügen, am Querschnitte, statt des Mittelpunktes, den Gesammtquerschnitt aufzulegen. Dies ist hier ungleich bedenklicher, als bei der Untersuchung über den Einfluſs der Länge des Muskels auf die Stromstärke, weil bei der wechselnden Gröfse des Querschnittes, um die es sich ja eben hier handelt, auf diese Weise die Bedingung verwirklicht zu sein aufhört, dafs die Fufspunkte des Bogens von beständiger Ausdehnung sein sollen; indessen bleibt nichts übrig, als uns in diese unvermeidliche Unvollkommenheit des Versuches zu fügen. Um das Ergebnifs von den Zufälligkeiten beim Auflegen der Muskeln unabhängig zu machen, schliefst man die Kette irgendwo in Quecksilber, nachdem man den Muskel mit aller Ruhe auf den Bäuschen eingerichtet hat. Damit die Ausschläge sich nicht in zu hohen Breiten der Theilung bewegen, als dafs noch eine sichere Vergleichung derselben möglich bliebe, wird nur bei halber Multiplicatorlänge gearbeitet.

Wenn man im Stande wäre, die Ausschläge der Nadel in wirkliche Stromstärken zu verwandeln, so würde es begreiflich von Wichtigkeit sein, auch die Gröfse des Querschnittes mit einiger Genauigkeit bestimmen zu können. Durch das Mafs geht dies nicht an. Man kann aber, da die Muskelbruchstücke von gleicher Länge sein sollen, an die Stelle des Querschnittes offenbar mit allem Vortheile ihr Gewicht treten lassen,[1] und auf diese Weise sind die Verhältnifszahlen der Querschnitte

[1] Eduard Weber hat zuerst angegeben, dafs man die Gröfse des Querschnittes eines Muskels genau berechnen könne, wenn man das specifische Gewicht, die Länge

oder der Anzahl der einfachen Bündel der Muskeln in folgender Tabelle gewonnen, welche keiner weiteren Erläuterung bedarf. Die Gewichte sind Mittel aus acht, die Ausschläge solche aus sechszehn sehr sorgfältigen Versuchen an den beiden Seiten von beziehlich vier und acht Fröschen. Die den Muskelnamen vorgesetzten eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf das Verzeichnifs oben S. 497.

| Name der Muskeln. | Gewicht in Grammen bei $1^{cm}$ Länge. | Verhältnifszahl der einfachen Bündel. | Erster Ausschlag. |
|---|---|---|---|
| (3) Rectus internus Cuv.; Post-ischio-tibial superficiel Duc. | 0.024 | 100 | 40° |
| (2) Sartorius Cuv.; Sous-ilio-tibial Duc. | 0.045 | 187 | 56 |
| (6) Semimembranosus Cuv.; Sus-ischio-poplité Duc. | 0.271 | [1129] | 89 |
| (4) Adductor magnus Cuv.; Post-ischio-tibial profond Duc. | 0.275 | 1146 | 76 |

Die beiden letzten Muskeln, auf später zu beschreibende Weise zusammengefafst und gleichzeitig aufgelegt, führten die Nadel mit Heftigkeit an die Hemmung.

Auch diese Erfahrungen sind unstreitig noch in hohem Grade unvollkommen. Nichtsdestoweniger scheint sich aus ihnen mit aller Bestimmtheit zu ergeben, dafs in meinem Multiplicatorkreise ein Muskel von gröfserem Querschnitte einen stärkeren Strom entwickelt, als ein solcher von geringerer Dicke. Der erste, zweite und dritte Versuch lassen kaum einen Zweifel daran übrig. Auffallend ist aber allerdings, dafs der Semimembranosus, dessen Gewicht bei gleicher Länge, wie man sieht, sehr nahe mit dem des Adductor magnus übereinkommt, eine nicht unbeträchtlich gröfsere Wirkung erzeugt, als dieser. Lassen wir diesen Punkt einstweilen auf sich beruhen, der sich nachmals befriedigend erklären wird, und suchen wir vor Allem die Frage zu beantworten, die sich alsdann aufdrängt, welche Bedeutung dem Umstande des Wachsens der Stromstärke mit dem Querschnitte bei dieser Ver-

und das Gewicht seiner Fleischfasern kenne. Rud. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Bd. III. Abth. II. S. 87. 90. 93.° — Müller's Archiv u. s. w. 1846. S. 513. 514.°

suchsweise beizumessen sei; ob etwa ein dickerer Muskel eine gröfsere elektromotorische Kraft entfalte, oder ob seine gröfsere Wirksamkeit einzig daher rühre, dafs er den Widerstand des Multiplicatorkreises in geringerem Mafse vermehrt, als ein Muskel von kleinerem Querschnitte.

Bleiben wir zunächst bei der letzteren Vermuthung stehen, so ist klar, dafs alle Ergebnisse der vorigen sowohl als dieser Nummer, die von Matteucci erhaltenen nicht ausgeschlossen, unter zwei Voraussetzungen leicht gedeutet werden können. Die eine derselben ist, dafs die thierischen Erreger, trotz der verwickelten Anordnung der ungleichartigen Gebilde in denselben, wie sie im vorigen Paragraphen bestimmt wurde, sich den Ketten und Säulen gleich verhalten in Betreff des Einflusses des wesentlichen und des aufserwesentlichen Widerstandes, d. h. ihres eigenen und desjenigen des Multiplicatorkreises, auf die Stärke ihres Stromes. Die zweite Annahme ist diese, dafs der aufserwesentliche Widerstand an meinen Vorrichtungen nahezu verschwinde gegen den der Muskeln, während umgekehrt bei Matteucci's Anordnung der Widerstand der thierischen Erreger nahezu wegfiel neben dem seiner Hülfsvorrichtungen.

Von der Zulässigkeit der ersten Voraussetzung soll alsbald mehr die Rede sein; was die zweite betrifft, so wird sie, wie man sich erinnert, durch mancherlei Umstände wahrscheinlich gemacht. Zunächst durch die Natur der von Matteucci getroffenen Vorkehrungen selber (Vergl. oben S. 227 ff.); dann durch die Wahrnehmung, dafs, in seinem Kreise, die Hinzufügung eines einzigen Frosches zu zweien einander das Gleichgewicht haltenden Froschsäulen eine Wirkung hervorbrachte, als ob er allein in der Kette befindlich gewesen wäre (S. oben S. 701. 703). Damit stimmt auf der andern Seite, dafs die säulenartige Anordnung mehrerer Muskeln oder Galvani'scher Präparate an meinen Vorrichtungen keine so beträchtliche Vermehrung der Stromstärke zur Folge hat, als Matteucci und auch Nobili ihr nachrühmen. (Vergl. oben S. 105. 231. 479.)

Die Erklärung der in Rede stehenden Erscheinungen würde danach einfach folgende sein. Muskeln von gleichem Querschnitt, aber verschiedener Länge, einzeln in den Kreis gebracht, wirken, wenn der Widerstand desselben gegen den ihrigen verschwindet, wie in meinem Kreise, ungefähr gleich stark, weil der Widerstand ungefähr in demselben Mafse vermehrt wird, als die Summe der Spannungen. Hiermit stimmt beiläufig der oben noch nicht angemerkte Umstand, dafs der Erfolg der Versuche zu Gunsten der längeren Muskeln um so ungewisser zu sein schien, je kleiner der Querschnitt derselben war. Läfst

man aber zwei dergleichen einander in der Kette entgegenwirken, so haben ihre Ströme einen und denselben Widerstand zu überwinden, und der Unterschied der Summe der Spannungen kann deutlich hervortreten (Vergl. oben S. 243). Muskeln von gleicher Länge, aber verschiedenem Querschnitte wirken dagegen, einzeln aufgelegt, um so stärker, je gröfser ihr Querschnitt ist, wenn der aufserwesentliche Widerstand gegen den ihrigen verschwindet, wie dies ohne weiteres aus den Formeln S. 703 hervorgeht. $W$ in diesen Formeln würde daher in Matteucci's Kreise im Verhältnisse zu $w$ sehr viel gröfser gedacht werden müssen als bei mir, was mit der zweiten obigen Voraussetzung übereinkommt. Alsdann liefse sich leicht verstehen, dafs, in seinen Versuchen ohne Compensation, wenn wir sie, bei ihrer grofsen Unvollkommenheit, überhaupt berücksichtigen wollen, das Aufhäufen von 10 — 12 Fröschen über einander keine merkliche Verstärkung nach sich zog; dafs es ebensowenig einen Unterschied machte, ob er einen einzelnen Frosch mit einem oder mit beiden Beinen die Kette schliefsen liefs; dafs aber ein solcher Unterschied zu Gunsten der besser leitenden Anordnung hervortrat, wenn auf dieselbe Weise mit einer Säule von sechs Fröschen verfahren wurde, weil nämlich jetzt der wesentliche Widerstand anfing, nicht mehr gegen den aufserwesentlichen zu verschwinden. In meinen Versuchen ohne Compensation dagegen war das letztere in viel höherem Mafse schon bei einem einzigen Muskel der Fall, den ich auf meine Bäusche auflegte; daher das unverkennbare Wachsen der Stromstärke mit dem Querschnitte.

Sind diese Erklärungen richtig, so mufs sich das Ueberwiegen des Stromes eines längeren Muskels über den eines kürzeren auch dadurch sichtbar machen lassen, dafs man den aufserwesentlichen Widerstand sehr vergröfsert, etwa indem man einen mit Hühnereiweifs getränkten Zwirnsfaden von mehreren Centimetern Länge oder einen von der Wirbelsäule bis zur Kniekehle frei dargestellten Ischiadnerven vom Frosche mit Hülfe eines Zwischenbausches in den Kreis einführt. Alsdann nämlich wird der Widerstand der Kette nur um einen unbedeutenden Bruchtheil vermehrt, während, nach der ersten Voraussetzuug, die Summe der Spannungen zunimmt, und mufs folglich Vergröfserung des Stromes eintreten. Dies ist nun in der That wiederum mit ziemlicher Sicherheit der Fall, und so weit erscheint Alles in der Ordnung. In der Ordnung erscheint ferner, dafs Matteucci, beim Compensiren ungleich starker Erreger, Gleichgewicht, oder nahezu, im Kreise fand, denn es wirken einander, bei dieser Anordnung, gleiche Summen von Spannungen entgegen, welche gleichen Widerstand zu bewältigen haben; die Stromstärken sind folglich einander gleich. Hier jedoch beginnt für diese

Ansicht von der Sache eine unüberwindliche Schwierigkeit aufzutauchen.

Man erinnert sich (S. oben S. 702), dafs Matteucci bereits ein leises Uebergewicht der dickeren Säule in seinem Kreise bemerkte. Dies hätte nichts zu sagen, da, wie bemerkt, seine Ergebnisse wegen der Anwendung unregelmäfsig gestalteter Kaninchenmuskeln und der Nichtberücksichtigung des ihm unbekannten Gesetzes der Spannweiten für sehr unsicher gehalten werden dürfen. Stellen wir aber jetzt diesen Versuch, mit Hülfe unserer weit vollkommneren Methoden an, so stofsen wir, und zwar in noch viel ausgesprochenerer Weise, auf dieselbe Abweichung von den theoretischen Vorhersichten. Man verfährt dabei folgendermafsen.

Entweder man bringt zwischen den Bäuschen in bekannter Weise, wie bei den Versuchen über den Einfluſs der Spannweite des Bogens oder der Länge des Muskels einen Zwischenbausch an und überbrückt die beiden Lücken in entgegengesetzter Richtung mit Muskeln von gleicher Länge und ungleichem Querschnitte, wobei der Bausch am Längsschnitte an die Mitte desselben angebracht sein muſs (S. Fig. 78. Taf. V.); oder man stellt statt des Zwischenbausches auch bloſs die dreieckige Glasplatte Fig. 28. Taf. I. S. 495. 496 an der wagerechten Klemme Fig. 19. Taf. III. S. 449 zwischen den Bäuschen auf, indem man die beiden darauf ruhenden künstlichen Muskelquerschnitte unmittelbar mit einander in Berührung bringt. Diese Gestalt des Versuches ist keine ganz müfsige Abänderung desselben; denn es ist dabei, wenigstens zum Theil, der Uebelstand vermieden, den wir oben S. 704 zu bedauern hatten, dafs, anstatt der bloſsen Mitte des Querschnittes, seine Gesammtausdehnung aufgelegt werden muſste. In der Abbildung liegen die Muskeln, wie die gewöhnliche Anordnung der Bäusche es mit sich bringt, etwas der Länge nach gekrümmt; ich bemerke jedoch, dafs ich mich davon überzeugt habe, dafs es ohne allen Einfluſs auf das Ergebniſs bleibt, ob man ihnen diese Lage läſst, oder sie mit ihrer Axe geradlinig ausstreckt, indem man den Zwischenbausch an der senkrechten Stange des allgemeinen Trägers etwas in die Höhe schiebt. Das Schliefsen in Quecksilber wird bei dieser Versuchsweise noch mit Vortheil beibehalten, hingegen kann man sich wieder der ganzen Multiplicatorlänge bedienen.

Was die aufzulegenden Muskeln betrifft, so bedient man sich mit Vortheil des Semimembranosus oder des Adductor magnus Cuv. einerseits, andererseits des Sartorius oder des Rectus internus Id. von einem und demselben Frosche. Man kann die Vorsichtsmafsregel gebrauchen, den dickeren Muskel zuerst zuzurichten, damit man sicher sei, dafs sein

Ueberwiegen nicht von der Schwächung herrührt, die der dünnere durch das Liegenbleiben während der Zurichtung des ersteren erfahren hat. Die Muskeln von ungleichem Querschnitte werden dann, wie oben S. 698 gelehrt wurde, neben- oder aufeinander gelegt, und der obere wie der untere Querschnitt an beiden mit dem Knorpelmesser in einer Ebene hergestellt, ohne sie dabei, wie es dort natürlich geschehen mufste, der Länge nach gegen einander zu verschieben.

Man findet nun, dafs in der grofsen Mehrzahl der Fälle der Strom des Muskels von gröfserem Querschnitte bei weitem im Kreise überwiegt. Eine mit dem Verfahren durch Compensation ganz gleichbedeutende Versuchsweise besteht darin (S. oben S. 707), den Widerstand des Kreises durch Einschaltung eines sehr schlechten Leiters, eines Nerven, eines feuchten Zwirnsfadens u. d. m. aufserordentlich zu vergröfsern, und nun die Muskeln nach einander aufzulegen. Der wesentliche Widerstand verschwindet alsdann gegen den aufserwesentlichen, und bei gleicher Summe der Spannungen müfsten die Muskeln von ungleichem Querschnitte gleiche Stromstärke zeigen. Nichtsdestoweniger findet man auch auf diese Weise, dafs der dickere Muskel stärker wirkt als der dünnere, selbst wenn man diesen, wie die Vorsicht gebietet, zuerst, und dann erst den dickeren auf seine Stromstärke prüft.

Zweierlei Einwände lassen sich gegen diese Versuche machen, welche beide dahin zielen, ihr Ergebnifs als die Folge nicht des ungleichen Querschnittes der Muskeln bei gleichen elektromotorischen Kräften derselben, sondern einfach als diejenige eines Unterschiedes eben dieser Kräfte erscheinen zu lassen. Der erste ist nämlich, dafs möglicherweise die elektromotorische Kraft der dickeren Muskeln von Natur gröfser sei, als die der dünneren. Unterschiede der relativen mechanischen Leistungsfähigkeit verschiedener Muskeln bestehen unzweifelhaft; geübtere Muskeln haben über ungeübtere in dieser Hinsicht stets die Oberhand. Ja solche Unterschiede geben sich sogar in der äufseren Erscheinung der Muskeln zu erkennen, nicht nur zwischen den verschiedenen Individuen einer Thierart, z. B. zahmen und wilden, sondern auch zwischen verschiedenen Muskeln eines und desselben Thieres. Dafs aber die elektromotorische Kraft der Muskeln mit ihrer mechanischen Leistungsfähigkeit steigen und fallen könne, hat offenbar nichts unwahrscheinliches; vielmehr wird später gezeigt werden, dafs beide, den mannigfaltigsten Einflüssen gegenüber, in der That Hand in Hand gehen. Das zweite Bedenken betrifft die Frage, ob nicht der dünnere Muskel durch die verschiedenen schädlichen Einwirkungen, denen die Muskeln während der Zurichtung beim Auflegen u. d. m. ausgesetzt

sind, vielleicht mehr leide, als der dickere, dessen Oberfläche im Verhältnisse zu seinem Inhalte so sehr viel kleiner ist, wenn man auch diesen, wie deshalb bereits empfohlen wurde, zuerst zurichtet.

Vergeblich suchte ich dem ersten Einwande dadurch zu begegnen, dafs ich die gleichnamigen Muskeln derselben Seite von sehr verschieden grofsen Fröschen einander entgegenwirken liefs, wobei ich allerdings nie über so grofse Unterschiede des Querschnittes gebot, wie bei den Versuchen an den ungleichnamigen Muskeln desselben Thieres. Dazu kam, dafs die Muskelstücke von gröfserem Querschnitte, wegen der Kürze der Muskeln des kleineren Frosches, im Verhältnisse zu ihrer Dicke gar zu kurz ausfielen. Der endliche Erfolg war, dafs individuelle Unterschiede unter den Fröschen den etwaigen Einfluſs der Gröfse des Querschnittes der Muskeln gänzlich oder grofsentheils verdeckten. Ich fand grofse Frösche, von denen die regelmäfsig gefaserten Oberschenkelmuskeln den Sieg davon trugen über die gleichnamigen von kleineren Fröschen; aber eben so oft zeigte sich das umgekehrte, so dafs kein sicherer Schluſs verstattet war. Nicht wenig schien dadurch das ausgesprochene Bedenken an Gewicht zu gewinnen; denn wenn die geringfügigen Unterschiede zwischen der relativen Kraft verschiedener Individuen ausreichend sind, den Muskeln des einen eine durchgreifende Ueberlegenheit über die des anderen in elektromotorischer Hinsicht zu sichern, um wie viel mehr konnte dies für die unstreitig bei weitem gröfseren Schwankungen der Fall sein, denen die Kraft der Muskeln in einem und demselben Individuum unterliegt. Man wird in der That z. B. nicht leicht der Meinung Glauben schenken, dafs es zwei gesunde Menschen geben könne, zwischen deren Bicipites brachii ein ebenso bedeutender Unterschied der Kräfte herrscht als zwischen dem Biceps des einen und seinem Platysma myoïdes oder seinen Ohrmuskeln.

Und nun verdoppeln sich unsere Zweifel, indem wir uns des seltsamen Umstandes erinnern, der aus der Tabelle S. 705 erhellt, dafs nämlich der Semimembranosus vom Oberschenkel des Frosches, trotz seinem gleichen Gewichte bei gleicher Länge, einen so bedeutend viel stärkeren Strom entwickelt, als der Adductor magnus ebendaher. Kaum scheint es denkbar, dafs dies auf etwas anderem beruhen könne, als auf einem Unterschiede zwischen den eigenthümlichen Kräften der elektromotorischen Molekeln beider Muskeln. Umsonst strebte ich anfangs danach, diese Abweichung aus der verschiedenen Gestalt des Querschnittes beider Muskeln abzuleiten, welche beim Semimembranosus mehr unregelmäfsig polygonal, beim Adductor mehr langgestreckt elliptisch ist. Ich brachte keine merkliche Veränderung des Stromes des letzteren Muskels, keine Veränderung von beständigem Zeichen hervor, wenn ich ihn,

der Länge nach zusammengefaltet, auf die Bäusche legte, und, nachdem die Nadel eine feste Stellung angenommen, seinen Querschnitt, bei unverrückter Berührung mit dem entsprechenden Bausche, nun seiner ganzen Breite nach entwickelte, nun wieder zu halber Breite und doppelter Dicke zusammenrollte.

Nichtsdestoweniger sind alle diese Bedenken nichtig, jene Erfahrungen vollgültig, die Stromstärke wächst mit dem Querschnitte bei gleicher elektromotorischer Kraft. Folgender Versuch ist erstens geeignet, die beiden oben gemachten Einwürfe mit einem Schlage von der Hand zu weisen. Wir lassen zwei Muskelmassen von verschiedenem Querschnitte einander am Multiplicator entgegenwirken; aber anstatt uns dazu der S. 708 empfohlenen Muskeln zu bedienen, werden auf der einen Seite entweder der Adductor magnus oder der Semimembranosus Cuv. aufgelegt, auf der anderen diese beiden Muskeln auf einmal, welche so zugerichtet sind, dafs sie, vermöge ihrer Bindegewebescheiden, völlig wie ein Muskel zusammenhängen. Dies geschieht leichter, indem man sie vom Kniegelenk ab, wo man ihre Sehnen durchschnitten hat, mit sammt dem Semitendinosus Cuv. (Bis-ischio-tibial Duc., vergl. oben S. 497. 5) lospräparirt; den letzteren Muskel, der nur locker mit jenen zusammenhängt, entfernt man nachgehends ohne Schwierigkeit. Auch bei dieser Versuchsweise nun findet man in der grofsen Mehrzahl der Fälle das Uebergewicht auf Seiten der beiden Muskeln. Bei der grofsen Dicke derselben kann hier nicht füglich mehr an eine in dem Mafse schnellere Vergänglichkeit des Stromes des einzelnen Muskels gedacht werden, und der Umstand, dafs die vereinigten Muskeln die Oberhand haben, gleichviel welchem von beiden der eine ihnen entgegenwirkende gleichnamig ist, verbietet nunmehr, an einen eingeborenen Unterschied der elektromotorischen Kräfte zu denken.

Hierbei zeigt sich jedoch wiederum durchgehends, dafs das Uebergewicht auf Seiten der vereinigten Muskeln viel entschiedener ist, wenn ihnen der Adductor magnus, als wenn ihnen der Semimembranosus entgegengestellt wird. Nicht nur erscheint der Differentialstrom in dem ersteren Falle bei weitem gröfser, sondern, wenn es bei häufiger Wiederholung des Versuches dann und wann begegnet, dafs der einzelne Muskel einmal einen matten Sieg über die beiden vereinigten davonträgt, so trifft dies doch nur für den Semimembranosus ein. Den höchst einfachen Grund zu diesem Verhalten habe ich endlich in Folgendem gefunden. Der Semimembranosus ist zwar, im Vergleich zu den übrigen Oberschenkelmuskeln des Frosches immerhin den regelmäfsig gefaserten beizuzählen. Allein bei genauerer Betrachtung entdeckt man doch, dafs diese Regelmäfsigkeit auch hier noch eine sehr geringe ist. Es zeigt

sich, dafs er, von seinem unteren bis nahe an sein oberes Ende, fortwährend neue Muskelbündel ansetzt, so dafs in der Gegend seines Kopfes sein Querschnitt ein viel beträchtlicherer ist, als in der Gegend seines Schwanzes. So kommt es denn auch, dafs, obschon das mittlere Stück desselben bei 1''' Länge ein und dasselbe Gewicht mit dem Adductor magnus zeigt, der Querschnitt des Kopfendes des Semimembranosus viel bedeutender ist, als der des Adductor magnus, welcher in seiner ganzen Länge ziemlich gleich dick erscheint. Da aber in den Versuchen, deren Ergebnifs die Tabelle S. 705 enthält, stets der obere Querschnitt der Muskeln aufgelegt wurde, so erklärt sich daraus die bedeutende Uebermacht, welche man auf Seiten des Semimembranosus wahrnimmt. Dafs dies wirklich der Schlüssel des Räthsels sei, beweisen ganz unzweifelhaft die folgenden Erfahrungen.

Erstens giebt der Semimembranosus, mit seinem unteren Querschnitt aufgelegt, einen merklich schwächeren Strom, als mit seinem oberen, wie folgende Tabelle im Mittel aus sechs Versuchen zeigt, bei denen ich mich der halben Multiplicatorlänge bediente, zwischen die Enden des Multiplicators aber noch eine Inductionsrolle mit langem und dünnem Drahte (S. oben S. 447) als schwächende Nebenschliefsung eingeschaltet hatte, damit sich die Ausschläge nicht in zu hohen Breiten der Theilung bewegten.

| Muskel. | | Erster Ausschlag. |
|---|---|---|
| Adductor magnus | | 55° |
| Semimembranosus | Unterer Querschnitt | 56 |
| | Oberer Querschnitt | 65 |

Obschon es nicht selten eintrifft, dafs die Wirkungsgröfse des Adductor magnus die des Semimembranosus beim Auflegen seines unteren Querschnittes übersteigt, während dies für den oberen Querschnitt niemals der Fall ist, kommt, wie man sieht, das Mittel der Ausschläge für den unteren Querschnitt doch immer noch über dem für den Adductor magnus zu liegen. Man sollte meinen, es müsse kleiner sein, und das Mittel der Ausschläge für den oberen und für den unteren Querschnitt müsse ungefähr übereinstimmen mit dem Werthe für die Ausschläge des Adductor magnus; es ist dies eine Abweichung, die ich zu deuten nicht recht im Stande bin. Es ist jedoch zu bedenken, dafs beim Erzeugen des Muskelstromes, nach den Erörterungen des vorigen Paragraphen, auch der nicht unmittelbar im Kreise begriffene Strom des Muskels betheiligt ist, und ferner, dafs der Adductor magnus, wegen seiner breiten bandartigen Gestalt, am Querschnitte schwerer untadelhaft, d. h. mit gänzlichem Ausschlufs etwa umgelegter Kanten

des Längsschnittes u. d. m. aufzulegen ist, als der Semimembranosus von mehr gedrängterem Bau und festerer Beschaffenheit.

Für's zweite kann man die beiden Semimembranosus eines und desselben Frosches einander entgegenwirken lassen, indem man den einen mit dem oberen, den anderen mit dem unteren Querschnitte gegen den Zwischenbausch lehnt. Stets hat der mit dem oberen Querschnitt aufruhende die Oberhand. Kehrt man beide Muskeln um, so dafs der erst mit seinem oberen Querschnitte berührende Muskel nun mit seinem unteren berührt und umgekehrt, so siegt jetzt der Strom des anderen Muskels, die Richtung des Differentialstromes ist die entgegengesetzte wie vorhin. Oft verändert sich dabei die Gröfse des Stromes sehr, zum Zeichen, dafs zwischen den eigenthümlichen elektromotorischen Kräften beider Muskeln, obschon sie gleichnamig und von einem Frosche entnommen sind, ein Unterschied besteht, den ich aber hier stets kleiner gefunden habe, als denjenigen, der durch den Unterschied der Gröfse des Querschnittes beider Enden bedingt wird.

Drittens läfst sich derselbe Versuch sogar mit allem Vortheil an der oberen und unteren Hälfte eines und desselben Semimembranosus wiederholen. Stets hat die obere Hälfte das Uebergewicht, sogar dann, wenn die Bedingungen dafür möglichst ungünstig eingerichtet werden, wenn man nämlich an der unteren Hälfte den oberen Querschnitt, an der oberen Hälfte den unteren Querschnitt auflegt.

Viertens läfst sich der letzte Versuch noch dahin abändern, dafs man den Semimembranosus unzertheilt auf eine Stelle der dreieckigen Glasplatte (S. oben S. 708) von passender Breite lagert, und an seinen oberen wie an seinen unteren künstlichen Querschnitt einen der Bäusche hinanschiebt. Der obere gröfsere Querschnitt hat alsdann die Oberhand über den unteren kleineren, der Muskel ist in der absteigenden Richtung von einem schwachen Strome durchflossen.

Aus diesen Thatsachen geht mit Gewifsheit hervor, dafs, bei gleicher elektromotorischer Kraft ihrer Molekeln, ein Muskel von gröfserem Querschnitt stärker wirkt, als ein solcher von kleinerem. Wie man sieht, hat der Kunstgriff dieser Untersuchung vorzugsweise darin bestanden, dieselbe schliefslich hinauszuführen auf die Benutzung gleichamiger Muskeln desselben Frosches von verschiedenem Querschnitte in den verschiedenen Punkten ihrer Länge, wodurch die Unsicherheit erbannt wurde, welche anfangs über unseren Ergebnissen aus dem Grunde schwebte, weil wir nicht wufsten, ob die wahrgenommenen Unterschiede nicht von Verschiedenheiten der elektromotorischen Kräfte selber herrührten; eine Unsicherheit, an welcher die Versuche über den einfluſs der Länge des Muskels auf die Stromstärke eben deshalb nie

litten, weil bei denselben von vorn herein die Erforschung auf Muskeln gleichen Namens von beiden Seiten eines und desselben Thieres gerichtet war.

Gegen eine Art, über den Einfluſs der Gröfse des Querschnittes auf die Stromstärke zu untersuchen, die auf den ersten Blick sehr einleuchtend scheint, aber, soviel ich sehe, nur zu trügerischen Ergebnissen führt, muſs ich hier noch zuletzt warnen. Sie besteht darin, einen Muskel aufzulegen, die beständige Ablenkung abzuwarten und nun einen, zwei oder mehr Muskeln in gleicher Weise hinzuzufügen, um dabei aus dem Erscheinen und dem Sinne einer Nadelbewegung zu ermessen, ob die Stromstärke vergröfsert, verkleinert oder sich gleich geblieben sei. Ebenso kann man die Muskeln wieder hinwegnehmen, und abermals die Störung beobachten, die dadurch in dem Gleichgewichte der Nadel bewirkt worden ist. Bei diesem Verfahren kommt man, gleichviel ob man mit Compensation arbeite oder nicht, zu keinem Ergebnisse. Bald nämlich erfolgt beim Hinzutragen eines neuen Muskels ein positiver Ausschlag, wie es dem Obigen nach stets der Fall sein sollte, bald bleibt die Nadel unbewegt, bald endlich sieht man sie nach dem Nullpunkte zurückweichen, ja durch denselben hindurchschlagen. Nicht besser ist es beim Entfernen eines Muskels; ja häufig sieht man Stromzunahme in Folge des Abhebens desselben Muskels, bei dessen Hinzufügen von wenigen Minuten gleichfalls Zunahme des Stromes sich kundgegeben hatte.

Ich muſs bekennen, daſs ich nicht mit völliger Bestimmtheit zu sagen weiſs, woher die Unsicherheit bei dieser Versuchsweise rühre. Ich halte es für das wahrscheinlichste, daſs sie auf nichts beruhe, als auf der ungleichmäſsigen Behandlung, welche die Muskeln dabei in mehrfacher Beziehung erfahren. Namentlich ist dies hinsichtlich des künstlichen Querschnittes an denselben der Fall, auf dessen Zustand bei der Hervorbringung des Muskelstromes viel anzukommen scheint. Hat man den einen Muskel von zweien gleichnamigen und gleichzeitig zugerichteten desselben Frosches aufgelegt und die feste Ablenkung der Nadel durch seinen Strom abgewartet und fügt dann den anderen hinzu, dessen Querschnitt währenddem der Luft ausgesetzt war, so wird man selten einen positiven, häufig einen negativen Ausschlag erfolgen sehen. Bringt man dann an diesem selben Muskel einen neuen Querschnitt an, so erfolgt fast immer ein positiver Ausschlag von beträchtlicher Gröfse. Man kann sich dieses, bis auf Weiteres, wenigstens so vorstellen, daſs eine Schicht des künstlichen Querschnittes durch Absterben schnell ihre elektromotorischen Eigenschaften einbüſst, und nun die Wirksamkeit des Erregers erstlich als eingeschalteter Widerstand, zweitens aber da-

durch beeinträchtigt, dafs sie die wirksame Ausdehnung desselben verkürzt.

Noch viel unregelmäfsiger, als bei Anwendung des künstlichen Querschnittes stellt sich das Ergebnifs derselben Versuchsweise, mit natürlichem Querschnitte ins Werk gesetzt, heraus. Ueberbrückt man die Lücke zwischen den Bäuschen mit einem Gastroknemius oder einem Unterschenkelstrecker, wartet eine feste Stellung der Nadel ab und fügt einen zweiten Muskel gleicher Art hinzu, so ist fast das gewöhnlichere, dafs ein Rückschwung der Nadel erfolgt. Meistens jedoch erhält man, wenn man den zweiten Muskel, nachdem er einige Zeit aufgelegen hat, wieder entfernt, abermals eine negative Nadelbewegung. Dies erklärt sich vollständig aus einem besonderen Verhalten des Stromes zwischen Längsschnitt und natürlichem Querschnitte, wovon später noch viel die Rede sein wird, und dem der Strom zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitte nicht oder doch nur in unvergleichlich geringerem Mafse unterworfen ist. Es kommt nämlich unter gewissen Bedingungen vor, dafs derselbe beim ersten Auflegen nur mit einem kleinen Theile seiner Kraft erscheint, sich aber durch längeres Aufliegen sowohl als durch öfteres Auflegen zu seiner gehörigen Stärke entwickelt.[1] Ist nun das Thier, dem der Muskel entnommen war, jenen Bedingungen ausgesetzt gewesen, so ist deutlich, dafs Hinzufügen eines neuen Muskels dadurch Verminderung der Stromstärke hervorbringen kann, dafs derselbe weniger kräftig als Erreger, denn als Nebenschliefsung wirkt. Hat aber der Muskel einige Zeit in der Kette zugebracht, so kann sich sein Strom entwickelt haben, und man nimmt alsdann beim Abheben abermals Stromverminderung wahr. Fügt man ihn jetzt zum zweiten Male hinzu, so sieht man daher meistens Verstärkung des Stromes erfolgen. Derselbe Vorgang drängt sich manchmal in den Augenblick des ersten Hinzufügens des Muskels in der Art zusammen, dafs man die Nadel, nachdem sie einen Rückschwung im Sinne der Ladungen angetreten hat, rasch umkehren und einen bei weitem beträchtlicheren Ausschlag in der entgegengesetzten, positiven Richtung vollführen sieht.

### (m) Erörterung der vorigen Ergebnisse.

Das Ergebnifs unserer Untersuchung ist nunmehr folgendes. Die Stärke des Muskelstromes ist von der Länge des Muskels auf die nämliche Weise abhängig, wie die Stärke des Stromes einer Säule von der Länge dieser Säule bei gegebener Dicke ihrer Glieder, also von der Anzahl ihrer Glieder, d. h., es giebt sich durch Verlängerung des

[1] S. unten, Kap. VIII. §. 11.

Muskels Stromvermehrung kund, sobald der aufserwesentliche Widerstand nicht gegen den des Muskels verschwindet. Anders ist es mit dem Querschnitte des Muskels. Hier hat die Uebereinstimmung mit der Säule ein Ende. Denn während die Stärke des Stromes derselben von dem Querschnitte ihrer Glieder unabhängig ist, sobald ihr Widerstand gegen den aufserwesentlichen verschwindet, wächst die Stärke des Muskelstromes selbst unter diesen Umständen fort mit dem Querschnitte des thierischen Erregers. Dies ist, wie eine viel spätere Folge lehren wird, eine Thatsache von beträchtlicher Wichtigkeit. Wenn wir die Bewegungserscheinungen des Muskelstromes werden kennen gelernt haben (S. oben S. 681), wird sich uns eine Aussicht eröffnen, das Gesetz des Muskelstromes, freilich unter Zuziehung mehrerer sehr gewagter Voraussetzungen, allein durch eine dipolare Anordnung ungleichartiger Gebilde im Innern der einfachen Bündel, statt durch eine peripolare (S. oben S. 682), zu erklären. Durch jenes Ergebnifs aber wird diese neue Vorstellungsweise offenbar unmöglich gemacht, und der Wettstreit zwischen beiden Annahmen zu Gunsten der letzteren entschieden, die deshalb auch, in unserer Darstellung, den Vortritt erhalten hat.

Sehen wir jetzt zu, wie weit es uns gelingen möge, von Seiten der oben entwickelten Theorie des Muskelstromes in das Verständnifs der neugewonnenen Ergebnisse einzudringen. Dies gelingt leider nur in sehr unvollkommener Weise. Betrachten wir vor Allem, was wir für diese Stelle aufgespart haben, etwas genauer, wie bei Voraussetzung der in Fig. 72. Taf. VI. Fig. 73. Taf. V. dargestellten Anordnung der Strom zwischen Längs- und Querschnitt, dessen wir uns hier bedienten, zu Stande kommt. Denken wir uns einen Bogen von beständigem Widerstande an Längs- und Querschnitt dieser Anordnung angelegt, so müfste, wenn wir die dadurch bewirkte Verzerrung der isoëlektrischen Curven aufser Acht lassen, folgendes der Fall sein. Stehen beide Fufspunkte des Bogens auf den Grenzen $a$, $b$, $c$, $d$ zwischen den Höfen zweier Molekeln auf (S. Fig. 73 u. oben S. 687), so könnte kein Strom stattfinden. Ist die Stellung der Fufspunkte eine beliebige andere, so würde stets ein Strom kreisen vom Längsschnitte zum Querschnitte in dem Bogen. Dieser Strom wird seinen obern Grenzwerth dann erreichen, wenn jeder der beiden Fufspunkte über der Mitte der Seite des Hofes einer Molekel, z. B. in $a$, $\beta$, sich befindet. Bezeichnet man mit $\lambda$ die Länge dieser Seite, und ertheilt man dem Bogen die beständige Spannweite $n\lambda$, so müfste die Curve der Stromstärken in demselben bei seinem Verschieben über die Grenze zwischen Längs- und Querschnitt folglich eine zwischen der Abscissenaxe und einem regelmäfsig wiederkehrenden

oberen Grenzwerthe auf- und niederschwankende wellenförmige Gestalt besitzen. Diese Gestalt würde übrigens in jeder Beziehung von den Mafsen des Muskels völlig unabhängig sein. Sie würde im Wesentlichen dieselbe bleiben, wenn man den Fufspunkten des Bogens, statt sie unendlich schmal zu wählen, eine endliche, aber gegen die des Hofes einer Molekel immer noch kleine Ausdehnung ertheilte, nur dafs sie alsdann in den Punkten, wo sie früher bis zur Abscissenaxe herabstieg, nur noch bis zu einem bestimmten unteren Grenzwerthe sinken würde.

Durch diese Betrachtungen ist jedoch sichtlich ebensowenig das Rechte getroffen, wie für den Strom zwischen Punkten nur einer Flächenbegrenzung durch die ähnliche, die wir oben S. 645 anstellten. (Vergl. Fig. 66. Taf. V.) Am Muskel zwar kann nicht erwartet werden, dafs man einen Einfluſs der Stellung der Fufspunkte des Bogens in Bezug auf die einzelnen erregenden Glieder wahrnehme, da die Mafse derselben, wenn sie am Längsschnitte überhaupt unterschieden werden dürfen, unbedingt verschwindend gegen die Ausdehnung der Fufspunkte des Bogens zu denken sind. Allein die Abhängigkeit der Stärke des Stromes zwischen Längs- und Querschnitt von der Spannweite des Bogens, wie auch von den Mafsen des Muskels, die sich hier kund giebt, würde auf dem angedeuteten Wege ganz unerklärt bleiben. Ueberdies zeigt der Strom zwischen Längs- und Querschnitt an dem Schema nach der Molecularhypothese (S. oben S. 672. Fig. 74. 75. Taf. VI.) von jener wellenförmigen seiner Curve zugeschriebenen Gestalt erst unter besonderen Bedingungen der Entfernung der einzelnen Molekeln von einander und der Annäherung der Ableitungsplatten an dieselben eine Spur (Vergl. oben S. 645); im Allgemeinen erscheint diese Curve, obschon ein näheres Gesetz derselben durch den Versuch nicht bestimmt werden kann, als eine in stetiger Höhe schwebende.

Es ist klar, die Abweichung, welche hier zwischen dem Ergebnisse der Betrachtung und dem der Erfahrung beim ersten Blicke obwaltet, beruht abermals auf dem Umstande, dafs wir unterlassen haben, die Veränderung der Vertheilung der Elektricität zu berücksichtigen, welche die nothwendige Folge des Hinzutragens des Bogens zur Vorrichtung sein mufs. Diese Veränderung jedoch von vorn herein zu beurtheilen, ist, beim jetzigen Stande unserer Kenntnisse, unmöglich. Wir sind, wie schon bei mancher früheren Gelegenheit, gezwungen, uns einfach an den Grundsatz der Deckung der Ströme zu halten. Mit Hülfe dieses kennen wir (Vergl. den vorigen Paragraphen unter 7.), dafs, durch das Anlegen selber des Bogens, ein Gesammtstrom in der Anordnung im Längs- zum Querschnitt gesetzt ist, weil nämlich, durch den Bo-

gen, alle nach seiner Seite gerichteten Strömungsvorgänge der Molekeln ein Uebergewicht erhalten über die nach der entgegengesetzten Richtung kreisenden. Von diesem Strome nimmt ein Theil seinen Weg durch den ihn erzeugenden Bogen selber, und man kann sich, der oben S. 657 eingeführten, allerdings äufserst rohen Vorstellungsweise gemäfs, schlechthin denken, dafs sich dieser Theil im Bogen zu demjenigen Stromantheil hinzufügt, der, sowie die Ausdehnung der Fufspunkte nicht gegen die des Hofes der elektromotorischen Molekeln verschwindet, und nicht zugleich jene die Stellungen *a*, *b*, *c*, *d* Fig. 73, oder die entsprechenden an einer zahlreicheren Anordnung inne haben, unter allen Umständen selbst dann schon im Bogen kreisen müfste, wenn dieser nicht, durch seine blofse Gegenwart, einen Gesammtstrom in dem Muskel setzte.

Bleiben wir bei der Betrachtung des Stromarmes stehen, den der Bogen von dem selbsterzeugten Gesammtstrom an einer nur nach zwei Richtungen ausgedehnten peripolaren Anordnung ungleichartiger Gebilde, gleich der in Fig. 72 — 75 ableitet, wenn er mit seinen beiden Fufspunkten an die Mitte des Längsschnittes und an diejenige des Querschnittes dieser Anordnung angelegt ist. Es ist die Frage, was der Fall sein wird, wenn entweder an die eine oder an die andere dieser Begrenzungen noch eine Reihe wirksamer Glieder oder peripolar-elektromotorischer Molekeln, hinzugefügt wird. Es scheint, als müfste folgendes geschehen. Wäre der Bogen nicht vorhanden, so würde das dynamische Gleichgewicht der Elektricität ungestört bleiben sowohl in den Höfen der Molekeln der neu hinzugefügten Gliederreihe, als auch in denjenigen der Molekeln der äufsersten Gliederreihe der Begrenzung, an welche die neue Gliederreihe angefügt wird, und somit in der ganzen übrigen Anordnung. Nach den Spannungsprincipien liegt dies auf der Hand; nach dem Grundsatze der Deckung der Ströme erklärt es sich folgendermafsen (Vergl. oben S. 649). In der Berührungsfläche der neuen Gliederreihe bekämpfen einander zwei Strömungsvorgänge, der eine herrührend allein von dieser Reihe, der andere von sämmtlichen schon vorher vorhandenen Reihen. Allein obschon dieser von einer so sehr viel gröfseren Gliederanzahl ausgeht, halten sich, in jener Berührungsfläche, die beiden Strömungsvorgänge doch das Gleichgewicht, weil der eine zur Bahn nur die neue Gliederreihe, der andere dagegen die sämmtlichen schon vorhandenen Reihen von Gliedern hat. So gleicht der Unterschied der Widerstände in diesem Falle vollkommen den Unterschied der elektromotorischen Kräfte aus. Tragen wir jetzt aber den Bogen hinzu, so ändert sich das Verhalten. Wir verstärken den Strom der neuen Gliederreihe, der nach der Seite des Bogens hin gerichtet

ist, während derjenige der ursprünglich vorhandenen Gliederreihen, der in entgegengesetzter Richtung kreist, eine solche Verstärkung nicht, oder in ungleich geringerem Maſse erfährt. Man sieht also, daſs der dem Bogen folgende Theil des durch denselben im Muskel gesetzten Stromes um so stärker ausfallen muſs, je mehr Gliederreihen wir hinzufügen, und zugleich scheint sich aus dieser Herleitung eine Bestimmung dafür zu ergeben, wie das Wachsen dieses Stromantheiles mit dem Wachsen des Muskels beschaffen sein müsse. Wenn nämlich, bei gegebener Beschaffenheit des Bogens, der Widerstand des Muskels so gering geworden ist, daſs, durch das Hinzutragen des Bogens, nichts merkliches mehr zu seiner Leitungsfähigkeit hinzugefügt wird, alsdann scheint es gleichgültig sein zu müssen, ob noch neue Gliederreihen der Anordnung angefügt werden oder nicht. Die Grenze des Stromes bei stetig wachsendem Muskel wird also, so lange der Widerstand des Bogens nicht unendlich klein ist, eine endliche und die Reihe der Zuwachse desselben für gleiche Zuwachse des Muskels folglich eine convergirende sein.[1] Dies Alles wird, wie bemerkt, in gleicher Weise der Fall sein müssen, gleichviel, ob die neuen Gliederreihen am Längsschnitt oder ob sie am Querschnitte der nur nach zwei Richtungen ausgedehnten Anordnung hinzugefügt werden.

[1] Es liegt mir ob, hier einen Irrthum zu bezeichnen, in den ich in meinem »vorläufigen Abriſs« in Ansehung dieses schwierigen Punktes verfallen bin. A. a. O. S. 18. §. 48 heiſst es: »Jetzt erklären sich ungezwungen mehrere nach der »ersten Annahme, wonach der Muskel mit dem einfachen am Mantel verzinkten »Kupfercylinder verglichen wurde, nicht leicht zu deutende Besonderheiten. Aus »(46)« — vergl. oben S. 690. Anm. — »folgt, daſs die ganze übrige Masse eines »Muskels in Rücksicht des indifferenten leitenden Bogens, in welchen die strom»prüfende Vorrichtung eingeschaltet ist, für jedes in Gedanken festgehaltene Primi»tiv-Muskelbündel Nebenleitung bilde. Dann aber ist es nach den Ohm'schen Grund»sätzen klar, daſs sich eine Gröſse des Muskels denken läſst, bei welcher der »Leitungswiderstand dieser Nebenschlieſsung gegen den des indifferenten leitenden »Bogens dergestalt verschwinden würde, daſs die Intensität des in letzterem gegen»wärtigen Stromarmes = 0 würde. Dies ist die Deutung des von Matteucci richtig »angemerkten Umstandes, daſs die Intensität des Stromes mit dem Gewicht an »Muskelfleisch, wovon er ausgeht, keineswegs in geradem Verhältnisse wächst. L'In»stitut No. 426.« Dies ist nun in den Thatsachen sowohl, als den Schlüssen, nach dem oben Gesagten zu berichtigen; was die letzteren betrifft, so hatte ich nicht berücksichtigt, daſs jedes neu hinzukommende Bündel, wie es allerdings eine schwächende Nebenschlieſsung in Bezug auf den Multiplicatordraht für den Strom der bereits vorhandenen Bündel bildet, doch zugleich auch einen neuen Partialstrom durch jenen sendet, und daſs daher die Incremente zwar möglicherweise eine convergirende Reihe bilden, niemals jedoch negativ werden, nie sich in Decremente verwandeln können.

Bei dieser Auseinandersetzung ist, wie man sieht, jedoch der Fehler begangen, dafs, in Widerspruch mit unsern Versuchsweisen und den Grundsätzen, von welchen aus wir dieselben entwarfen, die absolute Spannweite des Bogens als beständig angenommen worden ist. Lassen wir sie mit der Gröfse der Anordnung wachsen, so dafs vielmehr die relative Spannweite beständig bleibt, so scheint es in der That, als müsse sich noch das Verhältnifs des Widerstandes des Muskels zum Widerstande des Bogens in der Weise in das Ergebnifs einmischen, dafs Stromvergröfserung nur dann erfolgt, wenn der aufserwesentliche Widerstand beträchtlich gegen den wesentlichen gewählt wird. Lassen wir aber den Querschnitt des Muskels wachsen, bringen wir z. B. in Fig. 73. Taf. VI. mehrere den dargestellten entsprechende Lagen übereinander an, während die absolute Spannweite beständig bleibt, so mufs sichtlich die Stromstärke zunehmen, so lange der wesentliche Widerstand nicht gegen den aufserwesentlichen verschwindet.

Wie es aber komme, dafs auch beim Entgegensetzen zweier Muskeln von gleicher Länge und ungleichem Querschnitte das Uebergewicht auf Seiten des dickeren sich befindet, oder, dafs ein dickerer Muskel selbst dann noch einen stärkeren Strom giebt, wenn sich, aufser den Muskeln, ein so bedeutender Widerstand im Kreise befindet, dafs man annehmen darf, der Widerstand der Muskeln verschwinde dagegen; dies ist ein bisher ungemein dunkler Punkt in der Theorie der thierischen Erreger. Es scheint unmöglich, von diesem Umstande eine andere Deutung zu geben, als diejenige, dafs auch mit der Vergröfserung des Querschnittes, nicht blos der Länge des Muskels, der Unterschied der Spannungen wächst, den die Enden des an Längs- und Querschnitt angelegten Bogens annehmen. Es sei denn, dafs, in unseren hierauf bezüglichen Versuchen, bei welchen wir den Widerstand des Multiplicatorkreises durch Einschaltung eines feuchten Fadens in der Absicht aufserordentlich erhöhten, den Widerstand der Muskeln dagegen verschwinden zu machen, dieser Zweck noch nicht hinlänglich erfüllt gewesen sei, und dafs, bei Anwendung der Methode der Compensation der Strom des dickeren Muskels deshalb überwiegt, weil, wie dies später noch ausführlicher dargelegt werden wird, seine Mafse auf eine andere und zwar einflufsreichere Weise in den Ausdruck für seinen Strom eingehen, als die Mafse seines dünneren Widerpartes. Wie dem auch sei, ich mufs bekennen, dafs ich nicht im Stande bin, Aufschlufs über dieses Verhalten zu geben. Dies ist eine Aufgabe, welche, wie man leicht sieht, mit vielen vorhergehenden im Grunde dem Gebiete der Rechnung anheimfällt, und es kann zwar in manchen Fällen und bis zu einem gewissen Grade thunlich und alsdann sehr ersprieflich

sein, der Anwendung dieses mächtigen Hülfsmittels der Zergliederung mit der bloſsen Anschauung vorzugreifen, unbillig aber wäre, selbst wenn es an den Geist eines Newton gestellt würde, das Verlangen, daſs ein solches Durchdringen auf allen Punkten mit gleichem Erfolge bis zur gleichen Tiefe von statten gehen solle. Nur das Eine, oben bereits Erwähnte steht hier fest, weil es sich auf die wohlbekannten und einfachen Gesetze der Erreger von dipolarem Bau gründet, daſs nämlich, bei Voraussetzung dieser Anordnung, das fragliche Verhalten durchaus unerklärlich bleibe, und daſs deshalb unter sonst gleichschwebenden Bedingungen, lieber einer solchen Vorstellungsweise vom Bau der thierischen Erreger die Hand zu reichen sei, welche zwar jenes Verhalten zunächst gleichfalls unaufgeklärt läſst, aber doch, bei dem jetzigen Stande unserer Kenntnisse, nicht die unbedingte Unmöglichkeit desselben in sich schlieſst, sondern im Gegentheil allen beliebigen Möglichkeiten in diesem Punkte gegenüber sich noch völlig gleichgültig verhält.

Auch die schematischen Kupferzinkvorrichtungen lassen uns hier im Stich. In der Absicht, eine Versuchsreihe mit denselben anzufangen über den Einfluſs ihrer Maſse auf die absolute Stärke ihres Stromes, theilte ich zuerst den oben S. 644 beschriebenen Porzellantrog durch eine gefirniſste Holzleiste, die ich auf den Boden und an die kurzen Wände desselben wasserdicht festkittete, der Länge nach in zwei gleich breite Fächer. Das eine dieser Fächer wurde ebenso der Quere nach wiederum in zwei Fächer getheilt, wovon eines ($K$) halb so lang war, als der Trog oder das ungetheilt bleibende Längenfach ($L$) desselben. In $L$ setzte ich eine Vorrichtung gleich der oben S. 643 beschriebenen, Fig. 64. 65. Taf. VI. abgebildeten, welche aber nur aus acht erregenden Gliedern bestand. Die Abstände je zweier Glieder von einander waren doppelt so groſs, als der Abstand der beiden äuſsersten Glieder von der kurzen Wand des Troges. Eine ähnliche Vorrichtung von vier Gliedern, welche genau der einen Hälfte der ersteren entsprach, wurde in $K$ gesetzt. Ferner hatte ich vier, 25$^{mm}$ breite, 30$^{mm}$ hoch mit Fliefspapier bekleidete Platinplatten, welche in vier Holzklemmen eingespannt waren, und sich, in Brunnenwasser beliebig unter einander verbunden, hinreichend gleichartig verhielten. Der Trog selber wurde 5$^{mm}$ hoch, also bis an den Rand der Elemente (S. oben S. 644), mit Brunnenwasser gefüllt.

Die beiden ungleich langen Erregerreihen sollten, auf die einfachen Bedingungen zurückgeführt, zwei ungleich lange Muskeln vorstellen. Ich erwartete, daſs, wenn ich an jeder von diesen Vorrichtungen eine Ableitungsplatte in den Zwischenraum zwischen dem äuſsersten Gliede und der Seitenwand des Troges oder Faches, und

eine andere vor die Mitte der Erregerreihe aufstellen würde, ich wegen des verschwindenden Widerstandes des metallischen Bogens eine ziemlich gleich starke Wirkung würde erfolgen sehen. Ich hoffte weiter, dafs, wenn ich jetzt die beiden, vor der Mitte jeder Reihe befindlichen Platten mit einander, hingegen die beiden in den Endlücken befindlichen mit dem Multiplicator verbände, so dafs sich die Ströme beider Vorrichtungen, dem Verfahren der Compensation gemäfs, in dem Kreise bekämpften, die längere Erregerreihe über die kürzere, gleichwie ein längerer Muskel über einen kürzeren, die Oberhand haben würde.

Allein ich fand mich in meinen Erwartungen getäuscht. Der erste Versuch zwar gab ein ziemlich befriedigendes Ergebnifs, nur dafs die Ausschläge der kürzeren Vorrichtung die der längeren im Mittel um eine gewisse Gröfse übertrafen, was jedoch mit Fug noch auf allerlei Zufälligkeiten geschoben werden konnte. Als ich aber die zweite Anordnung ins Werk setzte, zeigte sich, dafs hier von keinen Zufälligkeiten die Rede war. Die kürzere Vorrichtung nämlich hatte stets und unzweifelhaft das Uebergewicht.

Ich darf, bei der Sorgfalt, mit der ich den Versuch anstellte, und der grofsen Entschiedenheit seines Erfolges, nicht annehmen, dafs hier eine Täuschung durch irgend welche Umstände obgewaltet habe. Am meisten drohte begreiflich mit einer solchen die doppelte Polarisation an den Erregern selbst und an den Ableitungsplatten. Den Einfluſs derselben suchte ich folgendermafsen unschädlich zu machen. Bei dem Versuch ohne Compensation wurden die Erreger in den feuchten Leiter versenkt, die Ableitungsplatten unverbunden gehörigen Ortes aufgestellt und nach einer bestimmten Zeit vom Eintauchen der Erreger an durch Schliefsen in Quecksilber mit dem Multiplicator verknüpft. Bei Anwendung der Compensation tauchte ich die Erreger, so gut sich dies thun liefs, gleichzeitig ein, ordnete die Ableitungsplatten an, und liefs eine etwas längere Zeit verstreichen, als beim ersten Versuche, damit nämlich die Polarisation sich bereits ihrer festen Grenze möglichst genähert haben, und dadurch der Einfluſs des ungleichzeitigen Eintauchens verwischt sein möchte. Es scheint demnach gewifs zu sein, dafs in diesem Punkte keine Uebereinstimmung mehr zwischen den thierischen Erregern und unseren schematischen Vorrichtungen herrscht. Aus diesem Grunde habe ich es, bei der ungemeinen Schwierigkeit und Mühseligkeit dieser zarten Versuche, auch nicht für gerathen gehalten, verwickeltere Anordnungen der Art auf die Abhängigkeit der Stärke ihres Stromes von ihren Mafsen zu untersuchen. Woher jene Abweichung komme, weifs ich nicht zu sagen; es ist, hinsichtlich derselben, jedoch nicht zu übersehen, von welcher Bedeutung hier der Unterschied der

Leitungsfähigkeit der metallischen und der thierischen Erreger, und die an den ersteren auftretenden Ladungserscheinungen sein können.

Die grofse Unsicherheit, die sich nach dem Allen, wie man wahrzunehmen Gelegenheit gehabt hat, auf diesem Gebiete von Untersuchungen kundgiebt, ist schliefslich Ursache, dafs folgende Bemerkung, welche sonst von grofsem Werthe sein würde, viel von ihrem Gewichte einbüfst. Man sollte nämlich meinen, dafs aus der Art der Abhängigkeit, welche die Stromstärke von der Länge des Muskels zeigt, gewissermafsen ein Beweis geschöpft werden könnte für das Stattfinden einer solchen Anordnung peripolar-elektromotorischer Gebilde im Inneren der thierischen Erreger, bei welchen das positive Kettenglied am Längsschnitte nicht ununterbrochen herrscht, sondern entweder mit dem negativen abwechselt, oder gar von Lücken, welche mit dem unwirksamen Leiter ausgefüllt sind, völlig durchbrochen wird (S. oben S. 676. 677). Es scheint nämlich, als könne anders nicht mit der Zunahme der Länge des Muskels eine Zunahme des Unterschiedes der Spannungen stattfinden, welche die Enden des an Längs- und Querschnitt angelegten Bogens annehmen. So unschätzbar nun auch eine solche thatsächliche Entscheidung uns erscheinen dürfte zwischen den beiden grofsen Klassen peripolar-elektromotorischer Anordnungen, welche man, wie man sich von der angeführten Stelle her erinnert, bisher noch mit gleichem Rechte in den thierischen Erregern voraussetzen kann, so ist es uns doch nicht gestattet, in der gemachten Andeutung etwas mehr zu sehen als einen Wink, wie vielleicht einmal, bei ungleich weiter vorgeschrittenem Stande unserer Kenntnisse, eine solche Entscheidung gewonnen werden könnte. Es bietet dieser Weg gegen den S. 676 angezeigten wenigstens den erheblichen Vortheil dar, dafs, während sich dort dem Versuche erwähntermafsen wohl stets unüberwindliche Hindernisse in den Weg stellen werden, hier im Gegentheil die Frage nach dem Thatbestande bereits durch Erfahrungen erledigt ist, über deren Gültigkeit kein Zweifel aufkommen kann.

## 5. Von der Anwendbarkeit der Methode der Compensation zur Eliminirung von Widerstandsveränderungen in thierisch-elektrischen Versuchen.

Wir werden einem Bedürfnifs unserer nachfolgenden Untersuchungen zuvorkommen, wenn wir an dieser Stelle, die am schicklichsten scheint, sogleich auch noch die Untersuchung anstellen, welche Aussichten, bei der jetzigen Vorstellungsweise von dem Baue der thierischen Erreger, noch für die Anwendung der Methode der Compensation offen

stehen. Wie man sich erinnert (S. oben S. 248), versprach uns diese Methode, von dem früheren Standpunkte aus, wo die Muskeln als einfache Ketten oder Säulen behandelt wurden, den Vortheil, dafs wir mit ihrer Hülfe Schwankungen der elektromotorischen Kraft von blofsen Schwankungen des Widerstandes, an die sich nur selten ein Interesse knüpfen dürfte, würden unterscheiden können. Auf diesen Dienst der Methode darf jetzt, wie sich zeigen wird, nicht mehr mit völliger Sicherheit gerechnet werden.

Nehmen wir an, es lägen auf zwei Lücken des Multiplicatorkreises zwei Muskeln von völlig gleichen Leitungsverhältnissen und gleichen elektromotorischen Kräften in gleicher Weise, aber entgegengesetzter Richtung auf. Wie mannigfach und verwickelt man sich auch die Art vorstellen wolle, wie der abgeleitete Strom eines jeden dieser Muskeln zu Stande kommt, folgende Betrachtungen werden nichtsdestoweniger in Kraft bleiben.

Man wird für die Stromstärke eines jeden der beiden Muskeln einen völlig gleichgestalteten Ausdruck bilden können, welcher seine Spannungen sowohl, als die Widerstände der sämmtlichen Kettentheile in passender Anordnung in sich befafst. In letzterer Beziehung wollen wir diesen Ausdruck etwas näher in Augenschein nehmen. Es heifsen die beiden Muskeln $M_I$ und $M_{II}$; die zugehörigen Stromstärken $I_I$ und $I_{II}$; man wird haben $I_I = I_{II}$, oder $I_I - I_{II} = 0$. Nun kann man aber $I_I$ unter der Form schreiben: $I_I = F(W + m_{II}, \mu_I)$, wo $W$, $m_{II}$, $\mu_I$ folgende Bedeutung haben. $W$ ist der Widerstand des Multiplicatorkreises; $m_{II}$ der Widerstand des Muskels $M_{II}$, wenn er von der Berührungsstelle des einen zu der des anderen Bausches von einem Strome durchflossen wird; endlich $\mu_I$ ist ein sehr verwickelter Ausdruck, der die Mafse und den eigenthümlichen Widerstand des Muskels $M_I$ selber in der Weise enthält, wie der besondere, oben erörterte Bau der thierischen Erreger es verlangen mag. Wiederum $I_{II}$ kann unter der Form geschrieben werden: $I_{II} = F(W + m_I, \mu_{II})$, in welcher $W$ dasselbe vorstellt, $m_I$ und $\mu_{II}$ aber für die Muskeln $M_I$ und $M_{II}$ dasjenige bedeuten, was in dem ersten Ausdrucke $m_{II}$ und $\mu_I$ für dieselben Muskeln in umgekehrter Reihenfolge.

Man sieht demnach, dafs der Widerstand $W$ des Multiplicatorkreises in ganz gleicher Weise in beide Ausdrücke $I_I$ und $I_{II}$ eingeht. Eine Veränderung dieses Widerstandes wird also niemals beide Ausdrücke ungleich machen, oder einen Ausschlag der Nadel nach sich ziehen können. Von einer solchen wird es demnach stets möglich sein, den Einflufs einer Bedingung zu unterscheiden, die man den einen oder den andern Muskel hat treffen lassen.

Man wird dies aber auch dann noch können, wenn das ursprüngliche Gleichgewicht der Muskeln nur unvollkommen war, welcher Fall, unseren früheren Erörterungen zufolge, einzig der Verwirklichung fähig ist, gleichviel übrigens, woher diese Ungleichheit stamme, die, unseren jetzigen Ansichten gemäfs, begreiflich von vielerlei Dingen herrühren mag: einem Unterschiede der erregenden Kräfte, einer Lageverschiedenheit der Muskeln u. s. f. Nur wird dies nicht durch die blofse Anwendung der Regeln möglich sein, die oben S. 249 für diesen Fall unter der Voraussetzung ertheilt wurden, die Muskeln seien einfache Erreger, den Ketten und Säulen zu vergleichen. Diese Regeln beruhten auf dem Grundsatze, dafs eine Vergröfserung des Widerstandes des Multiplicatorkreises nie vermögend sei, einen wirklichen negativen Ausschlag zu erzeugen, sondern dafs ihre Folge nur ein Rückschwung der Nadel sein könne; dafs also bei so unempfindlichem Multiplicator, dafs die Nadel, trotz der unvollkommenen Compensation, auf dem Nullpunkte beharrt, eine solche Vergröfserung auch nie im Stande sei, sie davon zu entfernen; und dafs sie folglich auch niemals vermöge, bei gröfserer Empfindlichkeit der stromprüfenden Vorrichtung, die Nadel in dem negativen Quadranten über ihre Stellung in dem positiven Viertelkreise hinauszuführen. Dies rührte daher, dafs der Widerstand des Multiplicatorkreises, unter jener Voraussetzung, in völlig gleicher Weise in den Ausdruck für den Strom eines jeden der beiden unvollkommen compensirenden Erreger, und in denjenigen für den Strom der Ladungen einging, welche der ursprünglich vorhandene Differentialstrom auf den Platinenden entwickelt. Jetzt wissen wir, dafs dem in Wirklichkeit schwerlich so sein kann. Vielmehr geht aller Wahrscheinlichkeit nach $W$ in den Ausdruck

$$I_{III} = \frac{p}{W + m_I + m_{II}}$$

ganz anders ein, als in die Ausdrücke $I_I$, $I_{II}$ für die beiden einander entgegenwirkenden Muskelströme. Damit daher der a. a. O. als ausreichend erkannte Kunstgriff noch in Kraft bliebe, die verändernde Bedingung, wenn sie z. B. eine schwächende ist, den stärkeren der beiden einander unvollkommen compensirenden Muskeln treffen zu lassen, müfsten wir mit Bestimmtheit wissen, dafs eine Vergröfserung des Widerstandes des Multiplicatorkreises den Strom der Ladungen in gleichem, oder in gröfserem oder wenigstens nur innerhalb gewisser Grenzen geringerem Mafse schwächt, als den der beiden thierischen Erreger, weil nur alsdann der Rückschwung die Nadel in dem negativen Quadranten nicht über ihre ursprüngliche Stellung in dem positiven Viertelkreise hinauszuführen vermöchte. Es dürfte schwer halten, in

dieser Hinsicht eine völlig begründete Vermuthung aufzustellen, und wir fahren daher auf jeden Fall sicherer, wenn wir auf die Anwendung des erwähnten Kunstgriffes ganz und gar Verzicht leisten. Aus demselben Grunde ist es auch hier nicht statthaft, sich, bei einigermafsen beträchtlichen negativen Schwankungen der Stromstärke, der Ladungen statt eines zweiten Erregers zur unvollkommenen Compensation zu bedienen (S. oben S. 250).

Die Unterscheidung zwischen Schwankungen anderer Elemente der Stromstärke und Veränderungen des Multiplicatorkreises kann bei unvollkommenem Gleichgewichte der Muskelströme vielmehr nicht anders als mit Hülfe des gleichfalls oben S. 250 bereits angegebenen Verfahrens geschehen, die Bedingung, deren Einflufs erforscht werden soll, abwechselnd auf den einen und auf den anderen Erreger einwirken zu lassen. Bleibt sich alsdann die Richtung des Erfolges gleich, so kann er dem Widerstande des Kreises angehören; ändert sie ihr Zeichen mit dem Erreger, den man die Bedingung treffen läfst, so hat man es mit einer Schwankung eines anderen Elementes der Stromstärke zu thun; denn es ist klar, dafs einerlei Veränderungen des Widerstandes des Kreises stets nur in einer und derselben Richtung wirksam sein können.

Was nun Veränderungen des Widerstandes der Muskeln selbst betrifft, so können auch sie jetzt deshalb nicht mehr mit Gewifsheit durch die Methode der Compensation eliminirt werden, weil die Mafse und die Leitungsgüte des Muskels $M_I$ z. B. in $m_I$ und $\mu_I$, also auch in $I_I$ und $I_{II}$, auf ganz verschiedene Weise eingehen, und die beiden letzteren Ausdrücke somit durch eine Veränderung jener Mafse und jenes Leitungswerthes wahrscheinlich in ganz anderer Weise verändert werden. Dazu kommt, bei ursprünglich unvollkommenem Gleichgewichte der Muskelströme, noch die Veränderung des Ausdruckes $I_{III}$ für die Polarisation durch den Differentialstrom, welche eben so wenig in gleichem Verhältnisse mit den übrigen Veränderungen vor sich gehen kann. Und leider büfst auch der Kunstgriff des abwechselnden Einwirkens auf den einen und den anderen Erreger hier seine Geltung ein, weil es scheint, als müsse sich jetzt das Zeichen der Wirkung mit dem Erreger umkehren, den man der verändernden Bedingung aussetzt, während jener Kunstgriff gerade auf der Unabhängigkeit dieses Zeichens von diesem Umstande beruhte.

Es wird also in solchen Fällen, wo, beim Erwägen der Bedeutung einer Stromesschwankung in beliebigem Sinne, Verdacht auf Veränderung des Widerstandes des Muskels selbst vorhanden sein sollte, die Beseitigung dieser Möglichkeit, statt dem Verfahren der Entgegensetzung, vielmehr anderen besonders darauf berechneten Versuchsweisen anheim-

fallen. Hievon werden wir in der nächsten Folge, bei Gelegenheit der Untersuchung des Einflusses der Zusammenziehung auf den Muskelstrom ein wichtiges Beispiel erleben.

Freilich wird es nicht immer möglich sein, solche Versuchsweisen ausfindig zu machen; wir haben uns durch diese Bemerkungen für manche spätere Ermittelung, bei der uns die Methode der Compensation von Werth gewesen wäre, gleichsam den Boden unter den Füfsen fortgezogen, und es ist möglich, dafs dies irrthümlich geschehen sei. Es wäre nicht ganz undenkbar, dafs hier ein solches Zusammenwirken der verschiedenen Kettenglieder stattfände, ein Umstand so den anderen aufzuheben käme, dafs, trotz jenen Zweifeln, die Methode der Compensation bei thierisch-elektrischen Versuchen statthaft, und die daraus gezogenen Schlüsse gültig wären. So z. B. giebt es eine, im Vergleich zu den thierischen Erregern zwar unendlich einfach zu nennende Anordnung linearer Leiter, von der man aber, auf dem Wege der Anschauung, gerade auch nicht vermuthen sollte, dafs sie die Methode der Compensation zuläfst, und wo dies nichtsdestoweniger der Fall ist, wie die Rechnung lehrt. Es ist diejenige, bei welcher zwei Lücken in einem und demselben Kreise jede mit einer beliebigen Anzahl wirksamer, d. h. eine Erregungsstelle enthaltender Zweige von einem bestimmten Widerstande $w$, und aufserdem eben so vielen unwirksamen Nebenschliefsungen vom Widerstande $w'$ überbrückt sind. Auf den ersten Blick scheint es sogar, als wenn diesem Falle eine gewisse schematische Aehnlichkeit mit dem der Muskeln nicht abzusprechen sei. Diese Aehnlichkeit ist indefs sehr oberflächlich, wie daraus hervorgeht, dafs, bei entgegengesetzter Richtung der elektromotorischen Kräfte beider Lücken, Gleichgewicht im Kreise herrscht, gleichviel welche die Anzahl der Zweige in der einen oder der andern Lücke sei, während von zwei ungleich dicken Muskeln, wie man sich erinnert, stets der von gröfserem Querschnitte die Oberhand hat. Ebenso bleibt demnach, was einigermafsen unerwartet ist, das Gleichgewicht in dieser Anordnung ungestört, nicht nur, wenn der Widerstand des Kreises ganz beliebig verändert wird, sondern selbst dann, wenn der Widerstand aller wirksamen und unwirksamen Zweige der einen Lücke eine proportionale ganz beliebige Schwankung erfährt, d. h. wenn $w$, $w'$ für die eine Lücke in $nw$, $nw'$ verwandelt werden. Ein solches Verhalten könnte nun auch für zwei einander entgegenwirkende Muskeln stattfinden; allein die blofse Möglichkeit hievon ist kein Grund, auf den wir im Verfolge unserer Untersuchung gehen dürfen. Die aufserordentliche Schwierigkeit und Verwickelung des Gebietes, auf dem wir uns bewegen, erheischt diese Vorsicht; so lange nicht auf dem

Wege einer zuverlässigen Rechnung die hier gegen das Verfahren der Entgegensetzung in thierisch-elektrischen Versuchen ausgesprochenen Bedenken gehoben sind, was noch einige Zeit anstehen wird, so lange müssen wir uns leider, so schwer wir sie auch stellenweise vermissen mögen, seiner Hülfe entschlagen.

Es wird hier nicht am unrechten Orte sein, wenn noch bemerkt wird, dafs die Anwendungen dieses Verfahrens, die bereits oben im Laufe unserer Forschungen vorgekommen sind, nicht der Art waren, dafs unsere Folgerungen daraus jetzt etwa mit untergraben wären. Wir haben uns desselben bedient bei der Ermittelung des Einflusses der Spannweite des Bogens, der Länge und des Querschnittes des Muskels auf die Stromstärke (S. oben S. 633. 698. 708). Dies geschah aber in der That stets nur in der Absicht zu erfahren, ob die Stärke des Stromes von dem Widerstande des im Kreise befindlichen Theiles des Muskels auf die nämliche Weise abhängig sei, wie dies bei den gewöhnlichen Erregern unserer Laboratorien, den Ketten und Säulen, der Fall ist. Nachdem diese Frage für die Spannweite des Bogens und den Querschnitt des Muskels durch den Versuch verneint, für die Länge desselben bejaht worden war, schlossen wir zwar, wogegen sich auch jetzt noch nichts einwenden läfst, auf das Nichtstattfinden einer dipolaren Anordnung ungleichartiger Gebilde in den thierischen Erregern, und somit auf das wirkliche Vorhandensein einer peripolaren, enthielten uns jedoch, von diesem letzteren Standpunkte aus, jeder weiteren Folgerung, welche auf die Ergebnisse der Methode der Compensation gegründet gewesen wäre.

Hier schliefsen wir die Untersuchungen über das Gesetz des Muskelstromes ab. Das Gewicht, welches auf dieselben gelegt worden ist, erscheint vielleicht noch mehr gerechtfertigt, wenn ich alsbald bevorworte, dafs wir auf diese Weise zugleich das Gesetz des Nervenstromes erforscht haben. Jetzt wenden wir uns einer anderen Seite der grofsen hier schwebenden Aufgabe zu, indem wir anfangen, die Einflüsse zu ermitteln, welche mannigfaltige Bedingungen, denen die Muskeln ausgesetzt werden, auf den Strom derselben ausüben. Dies wird der Gegenstand der beiden nächstfolgenden Kapitel sein, und so mufs es uns gelingen, der Lösung der Frage nach der Bedeutung der Erscheinung, deren äufseres Gesetz wir nun erkannt haben, um einige Schritte näher zu rücken.

# Nachweis zu den Kupfertafeln

## des ersten Bandes.

(Die Decimalbrüche, welche sich, durch einen Gedankenstrich getrennt, den Figurenzahlen der Abbildungen angehängt finden, die nicht entweder schematisch gehalten oder in Perspective gesetzt sind, bedeuten den Mafsstab, worin der Gegenstand dargestellt ist, die natürliche Gröfse = 1.0 gesetzt.)

---

Fig. 1 — 4. Taf. I. dienen zur Erläuterung der Theorie der Ablenkungen der Multiplicatornadel durch die Drahtmassen. S. 177 — 182.

Fig. 5 zur Erläuterung der Theorie des Kunstgriffes, die Multiplicatorenden sich in der zuleitenden Flüssigkeit, statt in eine, in zwei Platinplatten, endigen zu lassen. S. 207 — 209.

Fig. 6 zeigt die linke Hälfte der Vorrichtung, um thierische Theile auf Stromentwickelung zu untersuchen. S. 213. 214.

Fig. 7. Das Schliefsungsrohr, womit, wenn keine dergleichen Theile aufliegen, beide Hälften dieser Vorrichtung mit einander in Verbindung gesetzt werden. S. 219. 220.

Fig. 8. 9. 10. Taf. II. Die Sicherheitsplatten, durch welche die Platinenden des Multiplicators beim Handhaben der thierischen Glieder in den Zuleitungsgefäfsen vor Verunreinigung geschützt werden. S. 220. 221.

Fig. 11. 12. Taf. I. Die mit der zuleitenden Flüssigkeit getränkten Fliefspapierbäusche, eine Vorrichtung zu feineren thierisch-elektrischen Versuchen. S. 221. 222.

Fig. 13. Ein Zwischenbausch mit einem Eiweifshäutchen. S. 223.

Fig. 14. Der stromprüfende Schenkel. S. 254.

Fig. 15. Schematische Darstellung eines Reizversuches nach Ritter, zur thatsächlichen Bewährung des allgemeinen Gesetzes der Nervenerregung durch den Strom. S. 268.

Fig. 16. Ebenso, zum Gesetze der Zuckungen. S. 313.

Fig. 17. Nach Dove, zur Theorie seiner Versuche über inducirte Ströme, die sich am Multiplicator, nicht aber am menschlichen Körper, das Gleichgewicht halten. S. 414 — 416.

Fig. 18. Bequeme Form eines ungleichartigen Metallbogens zu Reizversuchen. S. 445. 446.

Fig. 19. Taf. III. Der allgemeine Träger für Hülfsvorrichtungen bei thierisch-elektrischen Versuchen. Die untere Klemme dient zum

wagerechten Einspannen von Glasplatten, die obere hält den stromprüfenden Schenkel isolirt. S. 449. 450.

Fig. 20. 21. Taf. II. Stromzuführende Vorrichtung für thierisch-elektrische Versuche. S. 450—452.

Fig. 22. Taf. IV. Fig. 23. 24. Taf. III. Vorrichtung zur Befestigung des lebenden Frosches. S. 453—456.

Fig. 24. 25. 26. Taf. III. Stromzuführende Klemmen, an den lebenden Frosch anzulegen. S. 456. 457.

Fig. 27. Taf. IV. Der Gastroknemius des Frosches auf den Bäuschen aufliegend. S. 492.

Fig. 28. Taf. I. Glastafel von passender Breite zur Unterstützung von Muskeln von verschiedener Länge, in die wagerechte Klemme des allgemeinen Trägers Fig. 19. Taf. III. einzuspannen. S. 495. 496.

Fig. 29—44. Taf. IV. dienen zur Versinnlichung der Versuchsreihe, welcher das Gesetz des Muskelstromes entnommen worden ist. S. 498—517.

Fig. 29. Der Adductor magnus Cuv. des Frosches liegt wirkungslos mit seinen beiden sehnigen Enden auf. S. 499. — Fig. 30. 31. Je nachdem er, statt mit seinem oberen oder seinem unteren Ende, mit rothem Fleisch aufgelegt worden ist, zeigt er den aufsteigenden oder den absteigenden Strom. Ebendaselbst. — Fig. 32. Mit zweien Punkten des rothen Fleisches aufgelegt, erscheint er verhältnifsmäfsig unwirksam. S. 500. — Fig. 33. Längendurchschnitt eines Gastroknemius; man erkennt, dafs die Ausbreitung *a b* der Achillessehne einen Ueberzug über den natürlichen Querschnitt sämmtlicher einfachen Muskelbündel, das rothe Fleisch *b c* aber den natürlichen Längsschnitt des Muskels vorstellt. S. 501. — Fig. 34. Der Adductor magnus beiderseits mit künstlichem Querschnitte aufliegend ist wirkungslos. S. 503. — Fig. 35. 36. Je nachdem er, statt mit seinem oberen oder mit seinem unteren künstlichen Querschnitte, mit natürlichem Längsschnitte aufgelegt worden ist, zeigt er den aufsteigenden oder den absteigenden Strom. Ebendas. — Fig. 37. Untersuchung verschiedener Punkte eines und desselben künstlichen Querschnittes eines Kaninchenmuskels. S. 507. — Fig. 38. Schematische Darstellung des Ergebnisses dieser Untersuchung. S. 508. — Fig. 39. Dasselbe für den natürlichen Querschnitt des Soleus des Kaninchens. S. 509. — Fig. 40. Der Sartorius Cuv. des Frosches mit verschiedenen Punkten seiner beiden natürlichen Querschnitte aufliegend. S. 512. S. auch S. 496. — Fig. 41—44. Der Adductor magnus mit verschiedenen Punkten seines natürlichen Längsschnittes aufliegend. S. 514.

Fig. 45 — 49. Taf. V. Schematische Abbildungen zum Gesetze des Muskelstromes. S. 517. 518.

Fig. 45. Die starken Ströme zwischen natürlichem oder künstlichem Längsschnitte und natürlichem oder künstlichem Querschnitte. — Fig. 46. Die schwachen Ströme zwischen verschiedenen Punkten eines und desselben oder zweier verschiedenen natürlichen oder künstlichen Querschnitte. — Fig. 47. Die schwachen Ströme zwischen verschiedenen Punkten des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes. — Fig. 48. Die unwirksamen Verbindungen zwischen Punkten des Querschnittes. — Fig. 49. Die unwirksamen Verbindungen zwischen Punkten des Längsschnittes.

Fig. 50. 51. Taf. V. Fig. 52. Taf. IV. Die dargestellten Anordnungen sind wirksam, zum Beweise, dafs entweder am natürlichen oder künstlichen Längsschnitte, oder am künstlichen Querschnitte, oder an beiden, eine Schicht unwirksamen feuchten Leiters vorhanden ist. S. 556 — 558.

Fig. 53. Zur Theorie des Strömungsvorganges über einem flachen Erregerpaare. Die isoëlektrischen und die Strömungs-Curven in der Flüssigkeitsschicht über einem solchen. S. 563. 578 — 581.

Fig. 54. Die Curven der partiellen Stromstärken und des Gesammtströmungsvorganges an der vorigen Anordnung. S. 581.

Fig. 55. Zur Theorie des Strömungsvorganges über einem flachen Doppelerregerpaare. Die isoëlektrischen und die Strömungs-Curven in der Flüssigkeitschicht über einem solchen. S. 581 — 583.

Fig. 56. Die Curve des Gesammtströmungsvorganges in der vorigen Anordnung. S. 583.

Fig. 57. Schema eines einfachen oder zusammengesetzten Muskelbündels, zur Erläuterung des Gesetzes des Muskelstromes. Die ausgezogene Curve ist die Curve des ursprünglichen Gesammtströmungsvorganges an demselben. (S. 583 — 585). Die punktirte Curve ist die Curve der Stromstärken in dem Bogen von beständiger Spannweite bei seinem Verschieben rings um den Umrifs des Längendurchschnittes des Bündels (S. 593 — 595). Die beiden Curven haben zu Ordinatenaxen die Geraden, welche die Ecken des Rechteckes halbiren, wodurch der Muskeldurchschnitt vorgestellt wird. S. aufserdem zu dieser Figur S. 634.

Fig. 58. Zur Theorie des Strömungsvorganges in dem an die Flüssigkeitsschicht über einem flachen Erregerpaare angelegten unwirksamen leitenden Bogen. S. 588 — 592.

Fig. 59. Grundrifs der Vorrichtung zur Untersuchung des Strömungsvorganges in der Flüssigkeitsschicht der flachen Erregerpaare. S. 597. 601.

Fig. 60. In einander zurücklaufende Reihe flacher Erregerpaare. S. 617.

Fig. 61. Taf. VI. Versuch an dem einfach cylindrischen Kupferzinkschema eines Primitivmuskelbündels. S. 620.

Fig. 62. Taf. V. Isoëlektrische Curven im Längendurchschnitt eines einfachen Bündels, unter der Voraussetzung eines, dem des einfach cylindrischen Schema's ähnlichen Baues desselben. S. 639.

Fig. 63. Taf. VI. Schema des Querschnittes eines zusammengesetzten Muskelbündels. S. 641. 642.

Fig. 64. Kupferzink-Schema zur Erläuterung der Entstehungsweise der Ströme zwischen verschiedenen Punkten des Querschnittes eines zusammengesetzten Muskelbündels. S. 643.

Fig. 65. Taf. VI. Fig. 66. Taf. V. Fig. 67 — 69. Taf. VI. dienen gleichfalls zur Verdeutlichung der Theorie dieser Ströme und sind keiner kurzen Erklärung fähig. Fig. 65. 67. 69 stellen die vorige Vorrichtung im Grundrisse, unter mannigfachen Bedingungen dar. S. hierzu S. 644 — 652, wie auch S. 662.

Fig. 70. Taf. V. Querschnitt eines Muskels, weniger schematisch dargestellt, als in Fig. 63. S. 656.

Fig. 71. Kupferzinkschema eines zusammengesetzten Muskelbündels. S. 658.

Fig. 72. Elektromotorische Muskelmolekeln mit peripolarem Bau, zur Erläuterung der Molecularhypothese über den Ursprung des Muskelstromes. S. 672. 682.

Fig. 73. Die isoëlektrischen Curven um eine Gruppe von vier dergleichen regelmäfsig angeordneten Molekeln. Ebendas.

Fig. 74. Kupferzinkschema zur thatsächlichen Bewährung der Molecularhypothese über den Ursprung des Muskelstromes. Ebendas.

Fig. 75. Ein Theil desselben im Grundrifs von unten gesehen. S. 673.

Fig. 76. Zur Beweisführung, dafs die thierischen Erreger als fortdauernd im Zustande der geschlossenen Kette befindlich anzusehen seien. S. 685. 686.

Fig. 77. Zwei gleichnamige Muskeln eines und desselben Frosches (Adductor magnus Cuv.) in verschiedener Länge, aber bei gleicher relativer Spannweite des Bogens mit Hülfe des Zwischenbausches einander entgegenwirkend. Der Strom des längeren Muskels hat die Oberhand. S. 698, wo die Bezugnahme auf diese Figur versäumt ist.

Fig. 78. Zwei Muskeln von verschiedenem Querschnitte, Sartorius und Adductor magnus Cuv. vom Frosche, einander ebenso entgegenwirkend. Der Strom des Muskels von gröfserem Querschnitte hat die Oberhand. S. 708.

# Inhaltsverzeichniss des ersten Bandes.

## Einleitung.

### Von der physiologischen Elektricität überhaupt.

#### §. I.

Seite

Begriffsbestimmung der physiologischen Elektricität . . . . . 3

#### §. II.

Uebersicht des Thatbestandes der physiologischen Elektricität.

*A.* Physiologisch-elektrische Erscheinungen an Pflanzen.

I. Statisch-elektrische Erscheinungen . . . . . 7

II. Erscheinungen elektrischer Strömung . . . . . 9

*B.* Physiologisch-elektrische Erscheinungen an Thieren.

I. Statisch-elektrische Erscheinungen

1. Am ganzen lebenden Thiere . . . . . 10
2. Elektricität des Blutes und der Absonderungen . . . . . 22

II. Erscheinungen elektrischer Strömung.

1. Strömungen der elektromotorischen Fische. (Angeblich elektromotorisches Vermögen einiger Wirbellosen) . . . . . 25
2. Sogenannte elektrochemische Strömungen zwischen sauer und alkalisch reagirenden Secretionsorganen . . . . . 26
3. Angeblich in Muskeln und Nerven kreisende Ströme . . . . 28
4. Froschstrom . . . . . 28

## Erster Abschnitt.

### Geschichte des sogenannten Froschstromes.

#### Erstes Kapitel.

#### Von der Entdeckung der physiologischen Wirkung des Froschstromes bis zu der seiner Wirkung am Multiplicator.

##### §. 1.

##### Anfänge des Galvanismus.

Rechtfertigung einer neuen Geschichte des Galvanismus vom Standpunkte der thierischen Elektricität aus, S. 31. — Neue Ausgabe von Galvani's sämmt-

lichen Werken, S. 32. — Galvani's Commentar »*de viribus Electricitatis in motu musculari*,« S. 33. — Geschichtliche Darstellung der in dem ersten Abschnitte des Commentars enthaltenen Untersuchungen Galvani's über Froschzuckungen durch Reibungselektricität, S. 33—41. — Zweiter Abschnitt des Commentars: Froschzuckungen durch atmosphärische Elektricität, S. 41. 42. — Dritter Abschnitt: Froschzuckungen durch Anlegen metallischer Bögen, S. 42—48. — Swammerdam's angeblich galvanischer Versuch, S. 43—46. — Vierter Abschnitt des Commentars: Galvani's thierisch-elektrische Theorie, S. 49. 50.

§. II.

Volta's Kampf gegen die angebliche thierische Elektricität.

Volta's erste galvanische Versuche, S. 50—53. — Der Sulzer'sche Zungenversuch, S. 53. 54. — Volta wird irre an Galvani's Deutungsweise und schreibt den Metallen die Hauptrolle in den galvanischen Versuchen zu, S. 54. 55. — Volta läugnet die thierische Elektricität; erste Anfänge seiner elektromotorischen Theorie, S. 56—59.

§. III.

Galvani's Entdeckung der Zuckung ohne Metalle.

Die Schule von Bologna erhebt sich gegen Volta: Aldini's Auftreten, S. 59. 60. — Dessen Versuche mit gleichartigen Bögen, vorzüglich Quecksilber, S. 60. 61. — Galvani's anonyme Schrift: »*dell' uso e dell' attività dell' Arco conduttore nei contrazioni de' muscoli*,« S. 62. — Der Galvani'sche Versuch ohne Metalle, S. 62—66.

§. IV.

Volta's Einwürfe wider die Zuckung ohne Metalle.

Volta's Kritik der Aldini'schen Quecksilberversuche, S. 66—68. — Volta erklärt die Zuckung ohne Metalle durch mechanische Reizung, S. 68. 69. — Er giebt die elektrische Natur dieser Erscheinung zu, leitet sie aber von der Berührung ungleichartiger Stoffe ab, S. 70—75.

§. V.

Abwehr der neuen Volta'schen Verdächtigungen durch von Humboldt und Galvani.

v. Humboldt erscheint auf dem Gebiete des Galvanismus, S. 75. 76. — Sein Werk: »*Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser* u. s. w.,« S. 76. — Seine Versuche ohne Metalle, S. 77. 78. — Seine Quecksilberversuche, nebst Polemik gegen Volta, S. 78—81. — Galvani's letzte Arbeiten: die fünf Briefe an Spallanzani, S. 82. — Neue Formen des Versuches ohne Metalle, S. 83. — Galvani's Grundversuch der elektrischen Nervenphysik, S. 84. — Versuche mit gleichartigen Bögen und fernere Abänderungen des Versuches ohne Metalle, S. 84—87.

§. VI.

Volta's schliefsliches Urtheil über die Zuckung ohne Metalle.

Fortschritte Volta's in seiner eigenen Richtung: die Fundamentalversuche, S. 87. 88. — Die zwei Briefe an Aldini, S. 89. — Volta nimmt die

Seite

Bedingung einer merklichen dreifachen Ungleichartigkeit bei dem Versuche ohne Metalle zurück, S. 90. 91. — Entdeckung der Säule und Theorie der Leiter dritter Klasse, S. 91—93.

§. VII.

Fernere Schicksale des Galvani'schen Versuches ohne Metalle bis zum Jahre 1827.

Aldini's »*Essai sur le Galvanisme*,« S. 93. — Seine Versuche, S. 94. 95. — Aldini's Versuch eines Plagiats an Galvani, S. 96—98. — Die thierische Elektricität geräth in Vergessenheit, S. 99. — Einzelne Wiederholungen des Versuches ohne Metalle durch Lehot, Bunzen, Heidmann, Home, Bellingeri, P. Erman, Pfaff, Joh. Müller, S. 99—102.

**Zweites Kapitel.**

**Nobili's Entdeckung der elektromagnetischen Wirkung des Froschstromes im Jahre 1827 und Matteucci's thierisch-elektrische Arbeiten bis zum Jahre 1840.**

§. I.

Nobili's Arbeiten über den Froschstrom.

Nobili's Entdeckung der elektromagnetischen Wirkung des Froschstromes, S. 103—105. — Fernere Beobachtungen desselben Forschers über diese Erscheinung, S. 105. 106. — Seine und Anderer Meinungen darüber, S. 107.

§. II.

Matteucci's erste thierisch-elektrische Untersuchungen.

Matteucci's elektrochemische Theorie der Fäulnifs, S. 108; — der Absonderungen und der Verdauung, S. 109—111. — Donné's Ströme zwischen Absonderungsorganen und sein Streit mit Matteucci über deren Bedeutung, S. 111—113.

§. III.

Matteucci's Arbeiten über den Froschstrom bis zum Jahre 1840 . . . 113

§. IV.

Schlufsbemerkungen.

1. Von dem geschichtlichen Verhältnisse meiner Arbeiten zu denen Matteucci's . . . . . 122
2. Bezeichnung von Matteucci's wesentlicher Leistung im Gebiete des Froschstromes bis zu diesem Zeitpunkte (1840) . . . . . 124
3. Verzeichnifs von Matteucci's ferneren Arbeiten über den Froschstrom und die zunächst damit verwandten Gegenstände bis zum Jahre 1845 . 126

Seite

**Drittes Kapitel.**

Bemerkungen über Valentin's Arbeiten im Gebiete der thierischen Elektricität . . . . . 129

## Zweiter Abschnitt.

### Methode.

Von einigen durchgängig gebrauchten Vorrichtungen und der Art und Weise der Untersuchung im Allgemeinen.

Vorbericht . . . . . 159

**Erstes Kapitel.**

Vom Multiplicator bei thierisch-elektrischen Versuchen.

§. I.

Von den Eigenthümlichkeiten des Multiplicators als stromprüfenden Mittels überhaupt . . . . . 160

§. II.

Bemerkungen in Betreff der Einrichtung, Aufstellung und Empfindlichkeit eines zu thierisch-elektrischen Versuchen bestimmten Multiplicators.

1. Rahmen . . . . . 162
2. Draht . . . . . 164
3. Nadeln . . . . . 165
4. Von den freiwilligen Ablenkungen astatischer Nadelpaare . . 169
5. Von der Aufhängung der Nadeln . . . . . 172
6. Von der Aufstellung des Multiplicators . . . . . 173
7. Von den Ablenkungen durch die Drahtmassen . . . . . 175
8. Berichtigung der Ablenkungen durch die Drahtmassen . . . . . 188
9. Schwankungen der Gleichgewichtslage der Nadeln und ihre Berichtigung 192
10. Intensitätencurve . . . . . 197
11. Absolute Empfindlichkeit des Multiplicators . . . . . 199
12. Hemmungen . . . . . 201
13. Andere Multiplicatoren . . . . . 202

Seite

## §. III.

### Darstellung des Verfahrens, thierische Theile mittelst des Multiplicators auf Stromentwickelung zu untersuchen.

Vorbericht . . . . . 203
1. Von der Art und Weise, sich gleichartige Platinplatten zu verschaffen 205
2. Von der Art und Weise, die thierischen Theile mit den metallischen Multiplicatorenden in Verbindung zu bringen . . . . . 209
3. Beschreibung der Vorrichtung.
(I) Die Zuleitungsgefäfse . . . . . 213
(II) Umhüllung der Platten . . . . . 214
(III) Die zuleitende Flüssigkeit . . . . . 215
(IV) Von der Art und Weise, die Vorrichtung in brauchbarem Zustande aufzubewahren . . . . . 217
(V) Schliefsungsrohr . . . . . 219
(VI) Sicherheitsplatten . . . . . 220
(VII) Von den Bäuschen . . . . . 221
(VIII) Von den Eiweifshäutchen . . . . . 223
(IX) Handgriffe, um die verloren gegangene Gleichartigkeit der Vorrichtung wiederherzustellen . . . . . 225
4. Matteucci's neueres Verfahren bei thierisch-elektrischen Multiplicatorversuchen . . . . . 227

## §. IV.

### Von der allgemeinen Erscheinungsweise der thierisch-elektrischen Ströme am Multiplicator.

1. Schema eines thierisch-elektrischen Versuchs . . . . . 234
2. Von der Polarisation in den thierisch-elektrischen Multiplicator-Versuchen . . . . . 236
3. Von der Methode der Compensation . . . . . 243

## Zweites Kapitel.

### Vom stromprüfenden Froschschenkel und dessen Gebrauch.

## §. I.

### Vom physiologischen Rheoskope überhaupt.

Der stromprüfende Froschschenkel und allgemeine Regeln bei dessen Anwendung . . . . . 251—258

## §. II.

### Von dem allgemeinen Gesetze der Nervenerregung durch den elektrischen Strom.

1. Allgemeiner Ausdruck des Gesetzes . . . . . 258

Seite

2. Thatsächliche Bewährung der obigen Grundsätze . . . . . 262
3. Matteucci's Messung der durch den elektrischen Strom entwickelten Nervenkraft . . . . . 275
4. Von einigen näheren Bestimmungen, denen das Gesetz der Nervenerregung durch den Strom ferner unterliegt.
   (i) Von der Erregung der Sinnesnerven durch den elektrischen Strom 283
   (ii) Von dem Einflusse der absoluten Dichtigkeit auf die Erregung der Nerven durch den Strom . . . . . 293
   (iii) Von dem Einflusse der Länge der vom Strome durchkreisten Nervenstrecke auf die Gröfse der Erregung . . . . . 295
   (iv) Von dem Einflusse des Winkels zwischen den Strömungsrichtungen der Elektricität und des sogenannten Nervenprincips auf die Gröfse der Erregung . . . . . 296
5. Vergleich der Nervenerregung mit der Induction . . . . . 300

## §. III.

## Von dem Einflusse der Richtung des Stromes in den Nerven auf die Gröfse der Erregung, und von der Bestimmung der Richtung eines Stromes mittelst des stromprüfenden Froschschenkels.

Vorbericht . . . . . 303

1.

Allgemeiner Ausdruck des Gesetzes der Zuckungen . . . . . 304

2.

Geschichtliche Darstellung der Erfahrungen über das Gesetz der Zuckungen.

(i) Entdeckung des Gesetzes der Zuckungen durch Pfaff im Jahre 1793.

Volta's Beobachtungen mit Reibungselektricität, S. 307. 308. — Vertheidigung der Rechte Pfaff's gegen die Behauptungen Bellingeri's, Marianini's und Matteucci's, S. 309. — Entdeckung der Trennungszuckung, S. 310. — Pfaff's Entdeckung des Gesetzes der Zuckungen, S. 311. — Galvani und Philipp Michaelis über dasselbe, S. 312.

(ii) Ritter's Arbeiten über das Gesetz der Zuckungen.

Ritter's erste Untersuchungen über das Gesetz der Zuckungen, S. 313. — Volta's Versuche darüber, S. 314. — Die Commission des Instituts von Frankreich und Lenot ebendarüber, S. 315. — Treviranus ebenso, S. 316. — Ritter's spätere Arbeiten (über den Gegensatz zwischen Strekkern und Beugern), S. 317—321. — Das Valli-Ritter'sche Gesetz des Absterbens der Bewegungsnerven von ihrem Ursprunge nach ihrer Ausbreitung hin, S. 321. 322. — Matteucci's angebliches Gesetz des Absterbens der Empfindungsnerven, S. 322—324.

(iii) Beurtheilung von Ritter's Gesetz der Zuckungen . . . . . 324

(iv) Fernere Bestätigungen des Gesetzes der Zuckungen.

Heidmann's Versuche, S. 333. — P. Erman's Deutung des Gesetzes der Zuckungen, S. 334—336. — Bellingeri's Versuche, S. 336. 337. — Marianini's, S. 337. 338.

(v) Uebertragung des Gesetzes der Zuckungen auf die elektrischen Empfindungen.

Seite

*A.* Geschichtliches in Betreff der Beziehung elektrischer Empfindungen zur Strömungsrichtung.

*a.* Geschmack.

Pfaff darüber, S. 339. — Lehot ebenso, S. 340. — Das Gesetz der elektrischen Erregung der Sinneswerkzeuge, nach Ritter, S. 340—342.

*b.* Geruch . . . . . 343

*c.* Gehör . . . . . 343

*d.* Gesicht.

Pfaff darüber, S. 345. — Ritter ebenso, S. 346—350. — Purkinje, S. 350—354

*e.* Gefühl.

Michaelis darüber, S. 354. — Volta ebenso, S. 355. — Ritter desgl., S. 355—358

*B.* Marianini's vereinigtes Gesetz der elektrischen Zuckungen und Empfindungen . . . . . 359

(VI) Nobili's Arbeiten im Gebiete des Gesetzes der Zuckungen.

*A.* Nobili's Gesetz der Zuckungen . . . . . 363

*B.* Nobili's Deutung des Gesetzes der Zuckungen.

*a.* Geschichtliches in Betreff der Veränderungen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten.

*α.* Ritter's Modificationen der Erregbarkeit durch geschlossene Ketten.

Ritter's Entdeckung derselben, S. 365—367. — Die Volta'schen Abwechselungen (Alternatives voltaïques), S. 367. 368. — Treviranus über Ritter's Modificationen u. s. w., S. 369. 370. — Ritter's fortgesetzte Arbeiten darüber, S. 370—372. — Pfaff, ebendarüber, ebendas.

*β.* Die Volta'schen Abwechselungen durch Marianini bearbeitet 373

*γ.* Die Peltier'schen Ladungen.

Peltier's Angabe darüber, nach Becquerel, S. 376. — Eigene Versuche, S. 377—381. — Matteucci zeigt, dafs die Volta'schen Abwechselungen nicht von den Peltier'schen Ladungen herstammen, S. 381. 382.

*d.* Nobili's elektrisches Heilverfahren beim Tetanus . . . . 382

*b.* Nobili's Theorie der Zuckungen . . . . . 385

*C.* Fernere Erfahrungen Nobili's im Gebiete des Gesetzes der Zuckungen 388

(VII) Matteucci's Gesetz und Theorie der Zuckungen . . . . . 391

(VIII) Longet's und Matteucci's verkehrtes Gesetz der Zuckungen an Bewegungswurzeln . . . . . 400

3.

Schlufsbemerkungen. . . . . 403

## §. IV.

Von der wesentlichen Eigenthümlichkeit des physiologichen Rheoskopes . . . . . 409

Seite

§. V.

Ueber unipolare Inductionszuckungen.

1. Vorbemerkungen betreffend die früheren Wahrnehmungen über elektrische Vorgänge in offenen Inductionskreisen.

Riess's erste Wahrnehmung derselben, S. 423. — Masson und Breguet ebendarüber, S. 423. 424. — Marianini desgl., S. 424. 425. — Wiederholung und Erklärung von Marianini's Versuchen, S. 425—428.

2. Bestätigung der früheren Ergebnisse mit Hülfe des stromprüfenden Froschschenkels . . . . . 429

3. Von der praktischen Bedeutung der unipolaren Inductionszuckungen bei elektrischen Reizversuchen mit Inductionsströmen . . . . . 435

**Drittes Kapitel.**

**Von der elektrochemischen Methode** . . . . . 439

**Viertes Kapitel.**

**Beschreibung einiger durchgängig gebrauchten Vorrichtungen.**

§. I.

Elektromotore.

1. Einfacher Bogen . . . . . 445
2. Stärkere Ketten . . . . . 446
3. Inductionsvorrichtung . . . . . 446

§. II.

Unterbrechungsrad und Stromwender . . . . . 447

§. III.

Der allgemeine Träger . . . . . 448

§. IV.

Stromzuführende Vorrichtung für thierisch-elektrische Versuche . . 450

§. V.

Vorrichtung zur Befestigung des lebenden Frosches . . . . . 453

§. VI.

Stromzuführende Klemmen, an den lebenden Frosch anzulegen . . 456

§. VII.

Aufbewahrung und Zurichtung der Frösche . . . . . 458

# Dritter Abschnitt.

## Untersuchung.

### Erstes Kapitel.

### Zurückführung des Froschstromes auf einen allgemein vorhandenen Muskelstrom.

§. I.

Seite
Strom des Gesammtfrosches . . . . . 463

§. II.

Strom des Galvani'schen Präparates . . . . . 466

§. III.

Strom des Rumpfes, der oberen Extremitäten, einzelner Glieder und Gliederabtheilungen . . . . . 468

§. IV.

Ströme anderer Thiere und ihrer Gliedmafsen . . . . . 470

§. V.

Physiologische Wirkung der thierisch-elektrischen Ströme . . . 473

§. VI.

Von der Unabhängigkeit des Stromes von verschiedenen organischen Systemen . . . . . 480

§. VII.

Von der elektromotorischen Unwirksamkeit der Berührung ungleichartiger Gewebe . . . . . 481

§. VIII.

Von dem **Muskelstrome** im Allgemeinen und dem Strome einiger Muskeln des Frosches insbesondere . . . . . 491

### Zweites Kapitel.

### Vom Gesetze des Muskelstromes.

§. I.

Beständige Strömungsrichtung einiger Muskeln . . . . . 495
1. Muskeln am Oberschenkel . . . . . 496
2. Muskeln am Unterschenkel . . . . . 497

§. II.

Seite

Das Gesetz des Muskelstromes . . . . . 498

§. III.

Einige Folgerungen aus dem Gesetze des Muskelstromes und weitere Verfolgung desselben am Muskel und in dem Thierreiche 518

§. IV.

Zur Geschichte des Gesetzes des Muskelstromes.

1. Matteucci's Wahrnehmung der Negativität des künstlich bloßgelegten Muskelinneren im Allgemeinen . . . . . 527
2. Darlegung des Gesetzes des Muskelstromes in meinem »*vorläufigen Abrisse* u. s. w.« . . . . . 532
3. Matteucci's fernere Arbeiten über das Gesetz des Muskelstromes . . 539
4. Zurechtweisung Matteucci's in Betreff des Gesetzes des Muskelstromes 547

**Drittes Kapitel.**

**Erörterung des elektromotorischen Wirkungsgesetzes des Muskelgewebes.**

§. I.

Von der Anordnung der wirksamen und der unwirksamen Bestandtheile in dem Muskelgewebe . . . . . 553

§. II.

Von der Anordnung der ungleichartigen Bestandtheile in dem Primitivmuskelbündel.

1. Vorläufige Betrachtungen über die Fortpflanzung des Stromes in nicht prismatischen Leitern . . . . . 561
2. Vom Strömungsvorgange an dem schematisirten Muskelprimitivbündel 577
3. Vom Strömungsvorgange in dem an das schematisirte Muskelprimitivbündel angelegten unwirksamen leitenden Bogen . . . . . 585
4. Versuche an dem einfach cylindrischen Kupferzinkschema eines Primitivmuskelbündels.
   (I) Vorversuche an den flachen Erregerpaaren . . . . . 596
   (II) Vergleichende Untersuchung der Kupfer- und der Zinkstrecke der flachen Erregerpaare . . . . . 600
   (III) Fernere Untersuchung der flachen Erregerpaare und Uebergangsformen zum cylindrischen Muskelschema . . . . . 615
   (IV) Das einfach cylindrische Kupferzinkschema eines Primitivmuskelbündels . . . . . 619
5. Vergleichung der Ergebnisse am cylindrischen Schema und am Muskelbündel unter sich und mit der Theorie . . . . . 624
6. Erörterung der gewonnenen Ergebnisse . . . . . 635
7. Theorie der Ströme des Querschnittes eines zusammengesetzten Muskelbündels . . . . . 640

Seite

8. Von den verschiedenen möglichen Anordnungen der ungleichartigen Gebilde in dem Primitivmuskelbündel . . . . . 661
9. Schlufsbemerkungen über die Anordnung der ungleichartigen Bestandtheile in dem Muskelbündel . . . . . 678
10. Matteucci's Ansicht von der Anordnung der ungleichartigen Bestandtheile im Muskelgewebe . . . . . 683

## §. III.

## Fernere Untersuchung der Muskeln als zusammengesetzter Erreger in physikalischem Bezuge.

1. Von einigen bemerkenswerthen Eigenthümlichkeiten der thierischen Erreger . . . . . 685
2. Von der elektroskopischen Wirksamkeit der thierischen Erreger . . 691
3. Von dem Einflusse der Länge des Muskels auf die Stärke des Stromes 694
4. Von dem Einflusse der Gröfse des Querschnittes des Muskels auf die Stärke des Stromes.
   (i) Matteucci's Versuche über den Einfluss der Gröfse der Muskelmasse auf den davon zu erhaltenden Strom . . . . . 698
   (ii) Eigene Versuche über den Einfluss der Gröfse des Querschnittes des Muskels auf die Stromstärke . . . . . 703
   (iii) Erörterung der vorigen Ergebnisse . . . . . 712
5. Von der Anwendbarkeit der Methode der Compensation zur Eliminirung von Widerstandsveränderungen in thierisch-elektrischen Versuchen 720

Nachweis zu den Kupfertafeln . . . . . 733

Gedruckt bei Gustav Schade in Berlin.

# Verzeichniss

## einiger Druckfehler im ersten Bande.

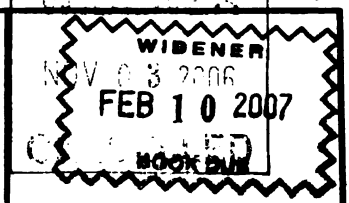
S. 24 Z. 1 v. u. st. Kap. III. l. Kap. II.
S. 34 Z. 20 v. u. ist nach »London 1769« einzuschalten: 4°.
S. 161 Z. 20 v. o. st. zweiten und vierten l. vierten.
S. 194 Z. 6 v. u. st. Hällström l. Hällström.
S. 198 Z. 1 v. u. st. 344 l. 344°.
S. 239 Z. 1 v. u. st. §. III. 4 l. III. 5.
S. 254 Z. 10. v. u. st. Fig. 15 l. Fig. 14.
S. 292 Z. 21 v. o. st. Oberfläche l. Oberfläche *s*.
Ebendas. Z. 15 v. u. st. Steigung l. Neigung.
S. 344 Z. 11 v. u. st. aufsteigenden l. absteigenden.
S. 451 Z. 15 v. o. st. vereinigen l. reinigen.
S. 469 Z. 1 v. u. st. §. III. 3 l. §. III. 4 (I).
S. 535 Z. 1 v. u. st. §. II. 3 l. §. II. 4 (IV).
S. 546 Z. 2 v. u. st. 557 l. 557.°
S. 580. 581. 592 ist einigemal Assymmetrie, Assymptote für Asymmetrie, Asymptote stehen geblieben.
S. 698 Z. 9 v. o. ist nach dem Worte »läfst« einzuschalten: (S. Fig. 77. Taf. V.)

Einige literarische Nachträge s. am Schlusse des zweiten Bandes.

# WIDENER LIBRARY

Harvard College, Cambridge, MA 02138: (617) 495-2413

**If the item is recalled, the borrower will be notified of the need for an earlier return. (Non-receipt of overdue notices does not exempt the borrower from overdue fines.)**




***Thank you for helping us to preserve our collection!***

THE BORROWER WILL BE CHARGED AN OVERDUE FEE IF THIS BOOK IS NOT RETURNED TO THE LIBRARY. ON OR BEFORE THE LAST DATE STAMPED BELOW. NON-RECEIPT OF OVERDUE NOTICES DOES NOT EXEMPT THE BORROWER FROM OVERDUE FEES.

CANCELLED

SEP 1 7 1980

187752